

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FILOZOFSKI FAKULTET  
ODSJEK ZA INFORMACIJSKE I KOMUNIKACIJSKE ZNANOSTI  
KATEDRA ZA ARHIVISTIKU I DOKUMENTALISTIKU  
AK. GOD. 2016./2017.

Lovro Štrbinić

Upotreba 3D tehnologija u izradi turističkih i  
edukativnih aplikacija: primjeri projekata  
proširene stvarnosti na tvrđavi Barone i  
virtualnog Jurja Dalmatinca

Diplomski rad

Mentor: dr. sc. Hrvoje Stančić, izv. prof.

Zagreb, rujan 2017.

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Trodimenzionalna tehnologija.....	2
2.1. 3D grafika .....	2
2.2. 3D modeliranje .....	3
2.2.1. Solidi .....	3
2.2.2. Poligoni .....	4
2.2.3. Oblaci točaka .....	5
2.2.4. NURBS krivulje.....	6
2.2.5. Voxeli.....	7
2.3. 3D skeneri.....	8
2.3.1. Kontaktni skeneri .....	9
2.3.2. Bezkontaktni aktivni skeneri.....	11
2.3.3. Bezkontaktni pasivni skeneri .....	13
2.3.4. Rekonstrukcija .....	14
2.4. 3D printeri.....	15
2.5. 3D digitalizacija.....	20
3. Trodimenzionalne računalne simulacije.....	21
3.1. Virtualna restauracija.....	21
3.2. Virtualna stvarnost.....	22
3.3. Proširena stvarnost.....	22
3.3.1. Hardver proširene stvarnosti .....	24
3.3.2. Softver proširene stvarnosti .....	28
3.4. Razlika između proširene stvarnosti i virtualne stvarnosti .....	29
4. Upotreba trodimenzionalne tehnologije u baštini .....	31
4.1. Primjeri upotrebe trodimenzionalne tehnologije u turističke i edukativne svrhe .....	31

4.1.1. UNESCO-ova Povelja o očuvanju digitalne baštine.....	31
4.1.2. Google Art .....	35
4.1.3. Rome Reborn .....	35
5. Proširena stvarnost na tvrđavi Barone.....	38
5.2. Povijest tvrđave Barone.....	38
5.3. SWOT analiza projekta proširene stvarnosti na tvrđavi Barone .....	39
5.4. Projekt proširene stvarnosti na tvrđavi Barone.....	40
5.5. Hardver proširene stvarnosti na tvrđavi Barone .....	41
5.6. Softver proširene stvarnosti na tvrđavi Barone .....	42
5.7. Komentar proširene stvarnosti kroz projekt na tvrđavi Barone.....	43
6. Projekt virtualnog Jurja Dalmatinca.....	44
6.1. Juraj Dalmatinac .....	44
6.2. Virtualni Juraj Dalmatinac.....	45
6.2.1. Izrada trodimenzionalnog modela Jurja Dalmatinca .....	46
6.2.2. Hardver Virtualnog Jurja Dalmatinca .....	47
6.2.3. Financijski okvir Virtualnoj Jurja Dalmatinca.....	47
6.2.4. Funkcioniranje Virtualnog Jurja Dalmatinca.....	48
7. Zaključak .....	50
8. Sažetak .....	51
9. Abstract .....	52
Popis literature.....	53
Popis slika .....	55

# 1. Uvod

Razvoj tehnologije i prije svega njena sve veća rasprostranjenost i lakša dostupnost, u sve je većoj mjeri uključuje u različite djelatnosti, a ujedno zbog svega navedenog stvara nužnost njenog korištenja, pogotovo u djelatnostima kao što su turizam i edukacija. Multimedijalnost ponude postala je uobičajena u edukativnim programima jer znatno olakšava zarobljavanje koncentracije korisnika, djece ili odraslih, ali je i prirodna u svjetlu svakodnevne svojevrsne ovisnosti o tehnologiji. U turizmu konkurentnost i stalna borba za inovativnošću te potraga za razlozima zašto će neko mjesto biti atraktivnije od drugih sličnih, nameću također korištenje multimedijalnosti i novih tehnologija.

Jedna od tehnologija koja se najbrže razvija je trodimenzionalna tehnologija, barem u smislu da je relativno donedavno bila nešto uvelike apstraktno, a danas je gotovo svakodnevno dostupna kroz čitav niz aplikacija i sličnih alata. Svojim karakteristikama idealna je za približavanje informacija korisnicima, pogotovo kroz kombinaciju turističko-edukativne upotrebe, kod prezentiranja kulturne baštine, uvjerljivog prikazivanja prijašnjih vremena usporedno s aktualnim prikazom određene lokacije i slično.

U ovom radu bit će općenito predstavljena trodimenzionalna tehnologija, kao i mogućnost te trendovi njene upotrebe, s posebnim naglaskom na upotrebu u turističko-edukativne svrhe. Na primjeru nekolicine poznatih međunarodnih projekata predstaviti će se način na koji je ona korištena u te svrhe, kao i predstaviti načine nastanka tih projekata i njihov daljnji razvoj.

Dodatno će se detaljnije predstaviti dva uspješna primjera upotrebe trodimenzionalne tehnologije u turističko-edukativne svrhe u Hrvatskoj, oba u Šibeniku, od kojih je jedan jednostavniji za izvedbu i upotrebu, a drugi kompleksniji u oba konteksta, ali i pritom dosta atraktivniji. Riječ je o Virtualnom Jurju Dalmatincu, aplikaciji postavljenoj tik uz šibensku katedralu, kao i Proširenoj stvarnosti na obnovljenoj tvrđavi Barone, projektu koji kroz koji se preklapaju prošlost i sadašnjost, odnosno povezuju ta dva elementa u realnom vremenu.

Cilj je na konkretnim primjerima pokazati uspješnost okretanja trodimenzionalnim multimedijalnim projektima, pogotovo u smislu inovativnosti u području turizma, koju Hrvatska, a pogotovo turističke regije, trebaju slijediti kako bi nastaviti napredak u tom segmentu, ali i kako bi se pratili svjetski trendovi tog područja.

## 2. Trodimenzionalna tehnologija

3D tehnologija je dio računalne grafike, koja predstavlja gotovo sve stvoreno pomoću računala, a što nije tekst i zvuk. Računalnu grafiku dijelimo na 2D i 3D računalnu grafiku. Kod 2D računalne grafike riječ je o računalnom stvaranju dvodimenzionalnih digitalnih slika i koristi se u aplikacijama koje koriste tradicionalne metode tehnologija crtanja i ispisa.

### 2.1. 3D grafika

Za razliku od nje, 3D računalne grafike koriste trodimenzionalnu reprezentaciju geometrijskih podataka pohranjenih u računalu zbog svrhe izvođenja izračuna i renderiranja 2D slika. U kontekstu softvera za računalnu grafiku, može biti nejasna razlika između 2D i 3D, jer 2D aplikacije mogu koristiti 3D tehnike kako bi postigle neke efekte poput osvjetljenja, a zna biti i obrnuto, pa 3D aplikacije znaju koristiti 2D tehnike renderiranja.

Dijelom 3D računalne grafike su i 3D modeli, a razlika među njima je ta da 3D model tehnički nije grafička jedinica sve dok nije vizualno prikazan. Također, zbog 3D ispisivanja, 3D modeli nisu zatvoreni u virtualnom prostoru, već mogu biti prikazani vizualno kao dvodimenzionalna slika pomoću procesa poznatog kao 3D renderiranje te mogu biti korišteni u negrafičkim računalnim simulacijama i izračunima. (3D computer graphics. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_computer\\_graphics](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_computer_graphics) )

Postoje tri osnovne faze kreiranja 3D računalnih grafika:

- 1) 3D modeliranje - opisuje se proces formiranja oblika objekta,
- 2) položaj i animacija - opisuju kretanje i položaj objekta unutar scene,
- 3) 3D renderiranje - stvara sliku objekta.

Uz navedeno, postoji i svojevrsna 2,5D računalna grafika, kojom se zapravo „lažira“ ljudsko poimanje dubine, i to na sljedeći način:

- a) trodimenzionalnost objekata u dvodimenzionalnom prostoru tako što se stavljaju efekti poput sjenčanja, što daje osjećaj dubine,
- b) trodimenzionalni objekti u prostoru čijem se prikazu dodaju efekti koji stvaraju izgled dvodimenzionalnosti (2.5D. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/2.5D>),

## 2.2. 3D modeliranje

Pod 3D modeliranjem smatramo proces razvoja matematičke, žičane reprezentacije bilo kojeg trodimenzionalnog objekta putem specijaliziranog softvera. Ono što time nastaje, naziva se 3D modelom, a kroz renderiranje može se dobiti 2D slika 3D modela iz jedne perspektive ili se 3D model može iskoristiti kao resurs u grafičkoj simulaciji.

Postoji nekoliko načina za stvaranje 3D modela, onaj najuobičajeniji je korištenjem 3D paketa, a moguće je i stvaranje kroz različite logaritme, kao i skeniranjem stvarnog objekta i njegovim interpretiranjem u računalu na format koji je računalu razumljiv. (3D modeling, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_modeling](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling) )

Najčešće je, govoreći o računalnoj grafici, riječ o pet načina stvaranja, odnosno prikaza trodimenzionalnih modela:

1. solidi,
2. poligoni,
3. oblaci točaka (eng. point clouds),
4. NURBS krivulje,
5. voxeli.

### 2.2.1. Solidi

Solidi su *ispunjeni* modeli opisani matematičkim i geometrijskim formulama, a njihova upotreba je uglavnom u inženjerstvu (CAD programi). Pomoću njih se u inženjerstvu izračunava težina, volumen modela, specifična gustoća, točka težišta, i sl., a za njihovu izradu se koristi parametarsko modeliranje. Ono se služi ograničenjima, koja mogu biti: (Solid modeling, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solid\\_modeling](https://en.wikipedia.org/wiki/Solid_modeling) )

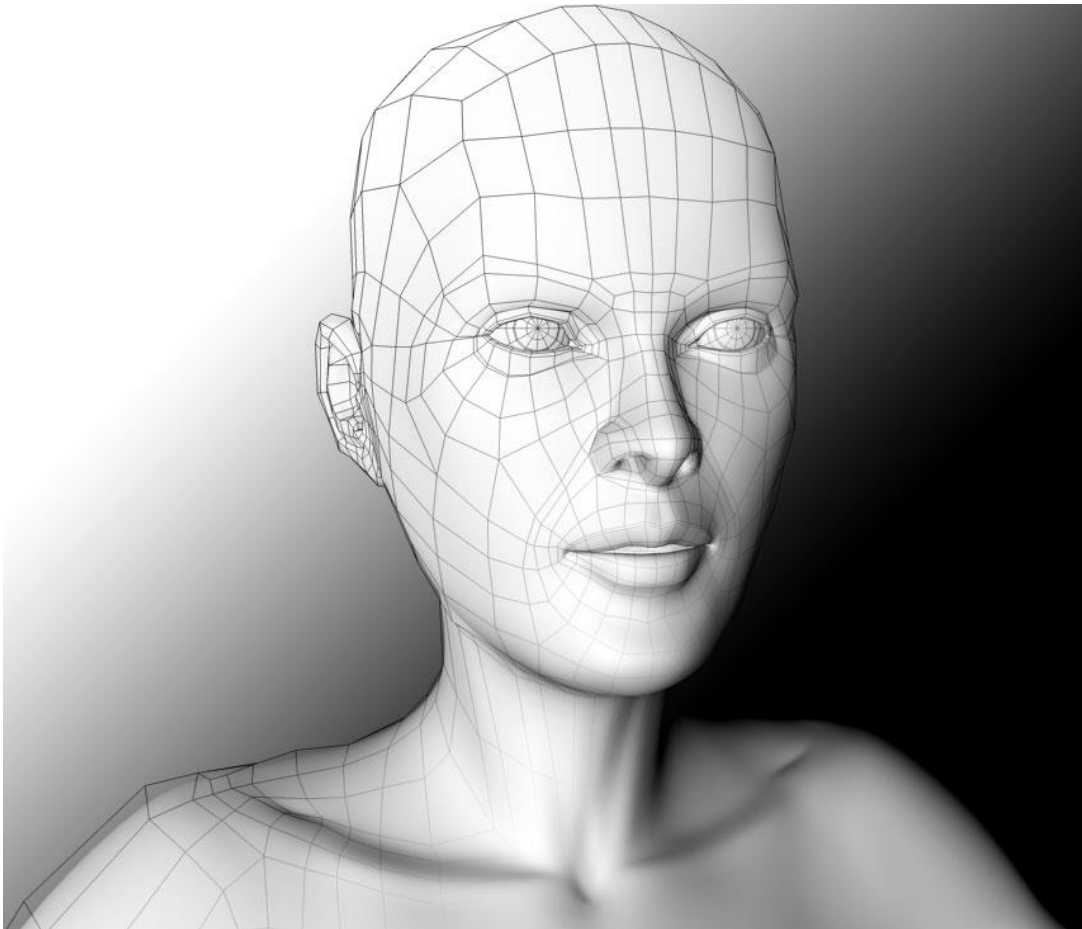
1. okomito,
2. tangenta,
3. dodirna točka,
4. kolinearnost,
5. paralelnost,
6. koncentričnost.

### 2.2.2. Poligoni

Poligoni se koriste se izradu video igara i kod stvaranja filmova i sličnog video materijala, ponajviše prilikom izrade specijalnih efekata za filmove.

Gotovo isključivo se koriste trokuti i četverokuti - trokuti jer su najjednostavniji, a četverokuti jer stvaraju ravnomjernije modele. Mnogokute je također moguće prikazati i koristiti, ali je njima teško upravljati i ne može se predvidjeti kako će se model ponašati kasnije. Oni se također nekad koriste, ali kod ručnog modeliranja jer je čovjeku teško primijetiti višak kutova ako se nalaze na istoj ravnini. Algoritmi za automatsko stvaranje modela, pak, koriste trokute, četverokute ili njihovu kombinaciju. Također, ponekad su od koristi na način da se lako dodaje veliki broj poligona modelima koji trebaju veću detaljnost i njima se stvara svojevrsna „ljuska“ koja tvori vanjski izgled modela, tj. neispunjeni volumen.

S obzirom da broj poligona direktno utječe na opterećenje računala, radi se na smanjenju broja poligona na modelu raznim tehnikama, a najpoznatija je retopologija. Ona optimizira broj i raspored poligona na modelu uz minimalno smanjenje kvalitete modela. (Polygon (computer graphics), URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon\\_\(computer\\_graphics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_(computer_graphics)) )



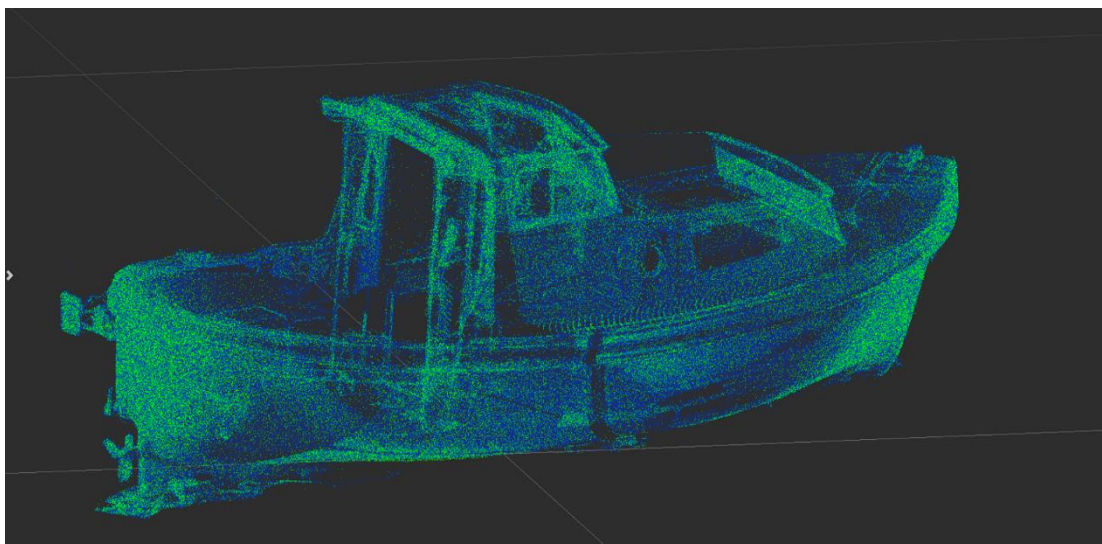
**Slika 1. 3D poligonalno modeliranje ljudskog lica**

### **2.2.3. Oblaci točaka**

Oblaci točaka (eng. point clouds) predstavljaju prikaz u kojem je riječ o velikom broju nepovezanih točaka koje u prostoru stvaraju dojam volumena, primjerice kao rezultat dobiven 3D skeniranjem, odnosno laserskim skeniranjem, a svaka točka pokazuje mjesto na koje je laserska zraka udarila u predmet skeniranja. Ovisno i mogućnostima lasera i brzini skeniranja, oblaci točaka mogu biti veće ili manje gustoće, a privid površine dobiva se dovoljnom gustoćom ili veličinom točaka.

Područja primjene oblaka točaka su strojarstvo, geodezija, obrnuto inženjerstvo, zabavna industrija, a također se mogu koristiti i kod izrade baštinskih projekata, što će biti dodatno obrađeno u nastavku rada. (Point cloud, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Point\\_cloud](https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud) )



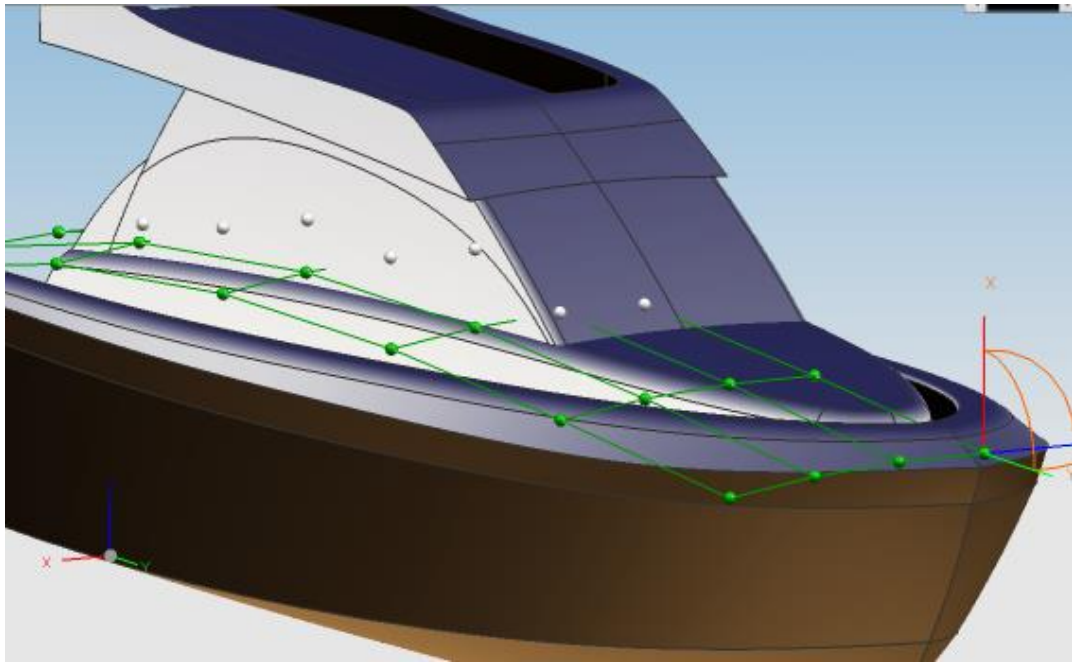


**Slika 2. Brod izražen oblacima točaka**

#### **2.2.4. NURBS krivulje**

NURBS krivulje dolaze od engleskog izraza „Non-Uniform Rational Basis Spline“ (dok „spline“ nadalje dolazi od engleskog izraza „Single Parametric Line“), što označava krivulje koje se koriste prilikom opisa nepravilnih, organskih oblika, dakle mali broj krivulja koji opisuje nešto kompleksniji model, dok se prostor između tih krivulja matematički interpolira.

Modeliranje NURBS krivuljama najviše se koristi u auto industriji te u dizajnu, te zapravo kod svih modela koji se sastoje od zakrivljenih površina s malo detalja, primjerice i kod izrade modela zrakoplova. (Non uniform rational B-spline, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Non-uniform\\_rational\\_B-spline](https://en.wikipedia.org/wiki/Non-uniform_rational_B-spline) )

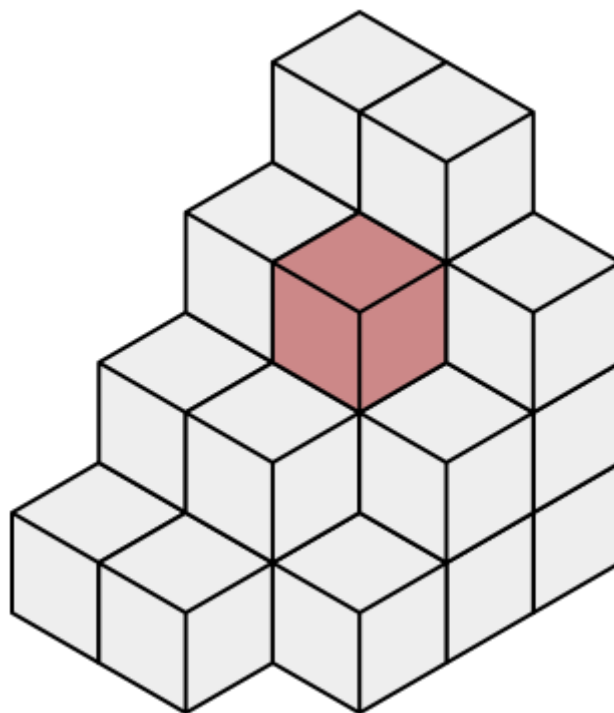


**Slika 3. 3D modeliranje broda korištenjem NURBS krivulja**

#### **2.2.5. Voxeli**

Izraz voxel skraćenica je izraza „volumetric pixel“ i označava „3D piksel“. Riječ je o 3D pikselima, a modeli koji su njima prikazani niske rezolucije izgledaju kao da su složeni od LEGO kocaka iste veličine.

Za razliku od poligona i njihove precizne definiranosti, voxeli su definirani međusobnim odnosom pa je njihov prikaz neprecizan. Njihova primjena je najmanja od svih navedenih tehnologija, ali koriste se primjerice prilikom izrade medicinskih prikaza i u nekim srodnim područjima. (Voxel, URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Voxel> )



**Slika 4. Voxeli raspoređeni u 3D mrežu, jedan voxel je istaknut bojom**

### **2.3. 3D skeneri**

Jednostavna definicija skenera je da je to ulazni uređaj za digitalizaciju. Dvodimenzionalni skeneri su uređaji koji služe za neposredni unos u računalo uglavnom teksta, slika ili fotografija, najčešće s papira, dok se trodimenzionalni skeneri koriste za digitalizaciju trodimenzionalnih predmeta.

3D skenere opisuje se kao uređaje koji analiziraju predmet ili okruženje u stvarnosti te prikupljaju podatke o obliku predmeta ili okruženja koji kasnije služe za izradu digitalnih trodimenzionalnih modela.

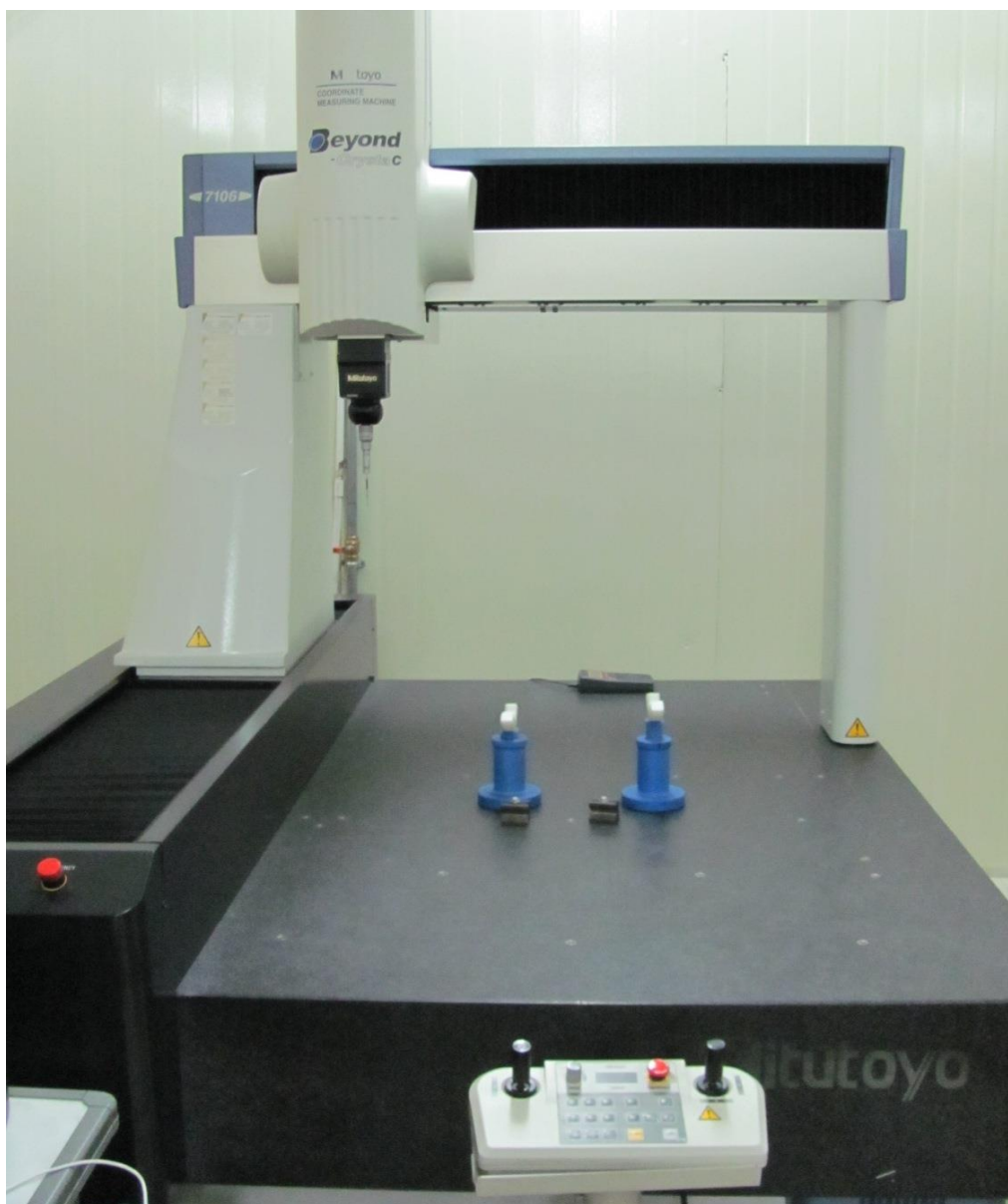
Njihova je primjena velika i korisna. U građevinarstvu olakšavaju niz poslova, od stvaranja nacрта do dokumentacije povijesnih nalazišta, u zabavnoj industriji se pomoću njih stvaraju trodimenzionalni modeli za filmove, serije, video igre, reklame i ostalo. Iznimno su korisni u području medicine za skeniranje unutrašnjosti tijela te posljedično otkrivanje bolesti. Koriste se i kod procesiranja materijala i u proizvodnji, kao kod obrnutog inženjeringa kad se skeniranjem uzimaju precizne mjere već postojećih predmeta. (3D scanner, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner#Applications](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner#Applications) )

Po tehnologijama koje koriste, skeneri se mogu podijeliti na nekoliko vrsta, a to su: kontaktni skeneri, beskontaktni aktivni, beskontaktni pasivni i korisnički asistirani, što uključuje modeliranje na bazi fotografije. (3D scanner. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner) )

### **2.3.1. Kontaktni skeneri**

Kontaktni skeneri mjere fizičke geometrijske karakteristike predmeta, ručno ili automatski računalno upravljani. Sonde koje kontaktni 3D skeneri koriste mogu biti mehaničke, optičke, laserske ili s bijelim svjetlom.

Primjer je Koordinatni mjerni uređaj (engl. Coordinate Measuring Machine – CMM), koji je vrlo precizan i uglavnom se koristi u proizvodnji. Sonda se postavlja u prostor svojevrsnim „mostom“ s osovinama u tri smjera, po tri osi, a pomicanje tih osi postavlja sondu u prostor i omogućuje mikrometarsku preciznost mjerenja. (Coordinate measuring machine, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Coordinate-measuring\\_machine](https://en.wikipedia.org/wiki/Coordinate-measuring_machine) )



**Slika 5. Koordinatni mjerni uređaj**

Uz preciznost kao veliku prednost, postoje i neki nedostaci ove tehnike. To je prije svega činjenica da skener mora biti u kontaktu s objektom koji se skenira, što može izmijeniti ili oštetiti objekt, a takva posljedica može biti vrlo teško nadoknativa kod obrade nekih povijesnih objekata ili umjetničkih predmeta. Drugi nedostatak je sporost, u odnosu na ostale metode skeniranja jer najbrži CMM uređaj može raditi najviše na nekoliko stotina Hertza, dok optički skeneri rade na frekvencijama do 500 kHz. (3D scanner, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner#Contact](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner#Contact) )

### 2.3.2. Beskontaktni aktivni skeneri

Beskontaktni skeneri se bave mjerenjem fizičke geometrijske karakteristike predmeta, ali bez kontakta s predmetom ili okruženjem. Beskontaktni aktivni skeneri emitiraju zračenje ili svjetlost te po detektiranju njihovog odbijanja otkrivaju oblik predmeta ili okruženja koje skeniraju. Najčešće vrste zračenja koje se koriste su svjetlosno, ultrazvučno i rendgensko. (3D scanner, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner#Non-contact\\_active](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner#Non-contact_active) )

Nekoliko je principa kojima se ovakvi skeneri koriste kako bi izvršili mjerenje, a glavni su:

#### 1) Mjerenje „vremena leta“

3D skeneri ovakve vrste koriste lasere, sastoje se od laserskog daljinomjera koji mjeri udaljenost od površine mjereći vrijeme potrebno da se svjetlost odbije od predmeta i vrati do izvora svjetlosti, što je s obzirom da je brzina svjetlosti poznata i stalna dovoljno da se odredi udaljenost od skenera do točke udara.

Laser se prilikom skeniranja ne pomiče kako bi bio referentna točka, osim kad je riječ o skeniranju prostora, gdje se rotira oko svoje osi. Najpoznatiji primjer ovakvog skenera je LIDAR (LIght Detecting And Ranging - detekcija svjetla i određivanje udaljenosti).





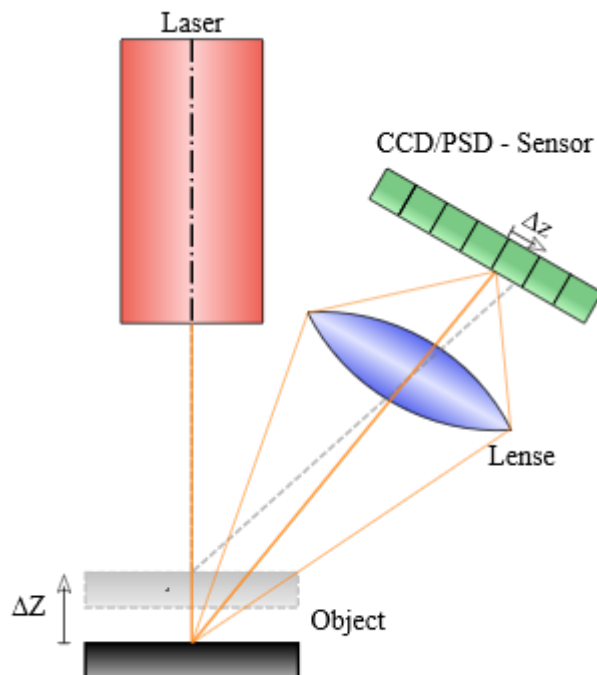
**Slika 6. LIDAR skener**

## **2) Triangulacija**

Naziv triangulacija potječe od činjenice da se koriste laserska kamera i točkasti laseri koji na predmetu stvaraju trokut.

Ovakvi skeneri bacaju lasersko svjetlo na predmet skeniranja te pomoću kamere određuju položaj točke lasera, koja se pojavljuje na raznim položajima unutar vidnog polja

kamere. Korištenjem linijskog lasera umjesto točkastog lasera pokriva se veća površina i ubrzava čitav proces skeniranja



**Slika 7. Princip rada skenera koji koristi triangulaciju**

### **3) Strukturirano svjetlo**

Ova vrsta skenera koristi projicirano svjetlo s prugastim uzorkom, a potom se kamerom određuju izgled skeniranog predmeta, principom triangulacije. U ovom slučaju, problem može stvoriti nedosljednost u uzorku koja utječe na određivanje izgleda površine predmeta.

#### **2.3.3. Beskontaktni pasivni skeneri**

Beskontaktni pasivni skeneri za razliku od aktivnih ne emitiraju nikakvo zračenje nego se koriste detektiranim ambijentalnim zračenjem, odnosno detekcijom najčešće vidljivog svjetla, što je najčešće ambijentalno zračenje. Funkcioniraju korištenjem dvije kamere kojima određuju udaljenost točaka na slikama. (3D scanner, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner#Non-contact\\_passive](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner#Non-contact_passive) )



Ovakva vrsta skenera je jeftinija, a nekoliko je poznatih metoda:

### **1) Stereoskopski sustavi**

Funkcioniraju korištenjem dviju kamera kojima određuju udaljenost točaka na slikama.

### **2) Fotometrijski sustavi**

Koriste se najčešće jednom kamerom, ali izrađuju više fotografija.

### **3) Siluetne tehnike**

Na temelju niza fotografija oko trodimenzionalnog predmeta pred jako kontrastiranom pozadinom koriste se obrisi, koji se spajaju u trodimenzionalni model, ali bez očitavanja unutarnjih dijelova predmeta.

### **4) Fotogrametrija**

Određivanje geometrijskih karakteristika predmeta koji se nalaze na fotografijama.

### **5) Stereofotogrametrija**

Napredniji oblik fotogrametrije, određuje i trodimenzionalne koordinate na predmetu mjerenjem dviju ili više fotografija istog dijela predmeta snimljenih iz različitog položaja uz pomoć kojih se određuju zajedničke točke te se triangulira položaj određene točke u prostoru.

## **2.3.4. Rekonstrukcija**

Uz skeniranje, postoji i još jedan način stvaranja trodimenzionalnih modela. Riječ je o rekonstruiranju, a ono može biti ranije spomenutom metodom iz oblaka točaka te iz dvodimenzionalnih slojeva.

Kod rekonstrukcije iz dvodimenzionalnih slojeva koriste se MRI (engl. Magnetic Resonance Imaging) i CT skeneri (Computer Tomography). Oni stvaraju čitav niz dvodimenzionalnih slojeva, tomograma, od kojih se slaganjem jednog na drugi dobija trodimenzionalni model.

Tri su načina slaganja modela iz tomograma:

### **1) Prikaz volumena**

Različiti dijelovi predmeta imaju drugačije vrijednosti pa se dodjeljivanjem zasebnih boja lakše prikazuju, a ovom metodom se uglavnom prikazuju modeli.

### **2) Segmentacija slike**

Kad različiti dijelovi predmeta imaju slične skenirane vrijednosti, razdvaja ih se segmentacijom, kojom se miču neželjeni dijelovi sa slike, ručno ili automatski. Softveri za segmentaciju gotovo uvijek omogućuju prebacivanje modela u CAD format, čime se omogućuje daljnje obrađivanje predmeta.

### **3) Stvaranje mreže iz slika**

Automatizirani proces kojim nastaju realistični i precizni geometrijski opisi skeniranih podataka. Koriste se za uštedu vremena, kad se koriste modeli za računalnu analizu (3D scanner, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner#Reconstruction](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner#Reconstruction) )

## **2.4. 3D printeri**

Procesom trodimenzionalnog ispisa dolazi do stvaranja fizičkog predmeta od virtualnog trodimenzionalnog modela, okomitim slaganjem slojeva materijala. Ova vrsta tehnologije ima veliki porast proizvodnje, prodaje i korištenja usporedno s razvojem i dostupnošću ostalih trodimenzionalnih tehnologija, a stalnim unaprjeđivanjem neke verzije 3D printera su došle u fazu kad mogu stvoriti predmet od materijala različitih mehaničkih i fizičkih svojstava u jedinstvenom procesu.

Princip rada 3D printera, odnosno način funkcioniranja trodimenzionalnog ispisivanja zasniva se na činjenici da su 3D printeri mini sustavi s numeričkim upravljanjem u tri osi (x, y i z). Funkcioniraju na način da sistemski softver prihvata 3D datoteke u određenim formatima te konvertira 3D CAD nacrt u poprečne presjeke, točnije tanke slojeve čija debljina ovisi o preciznosti koju je cilj postići pojedinim ispisivanjem.

Slijedi izrada predmeta u radnom prostoru printera, za koji postoji nekoliko opcija, a onda klasična je nanošenje specijalnog praha u tankim slojevima i učvršćivanje predmeta vezivnim sredstvom koje se nanosi na prah. 3D printeri mogu „ispisivati“ predmete u boji ili oni mogu biti monokromatski, a ovisno o izboru praha, odnosno punjenja, mogu se kreirati predmeti različitih karakteristika, potrebnih u pojedinim specifičnim slučajevima (čvrstoća, izdržljivost, itd.)

Njihova je primjena široka, razni tipovi 3D printera pogodni su za različita područja, a ponajviše u industriji motornih vozila. Velika je upotreba i kod stvaranja korisničkih proizvoda, poslovnih strojeva, ali i u medicini, obrazovanju te područjima aeronautike, kao i za potrebe vojske. (3D printing, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_printing](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing) )

Nekoliko je tehnologija koje koriste 3D printeri i one su povezane s odgovarajućim materijalima koje se u tim slučajevima koriste:

### **1) Selektivno lasersko sinteriranje**

Materijali koji se koriste kod selektivnog laserskog sinteriranja su termoplastika i metalni prah, odnosno polimeri, metali i legure. Koristi se snažan laser koji zagrijava materijal nešto ispod temperature tališta te ga tako spaja u željeni oblik, a ponekad se za potrebe spajanja materijal sasvim ili djelomično topi.

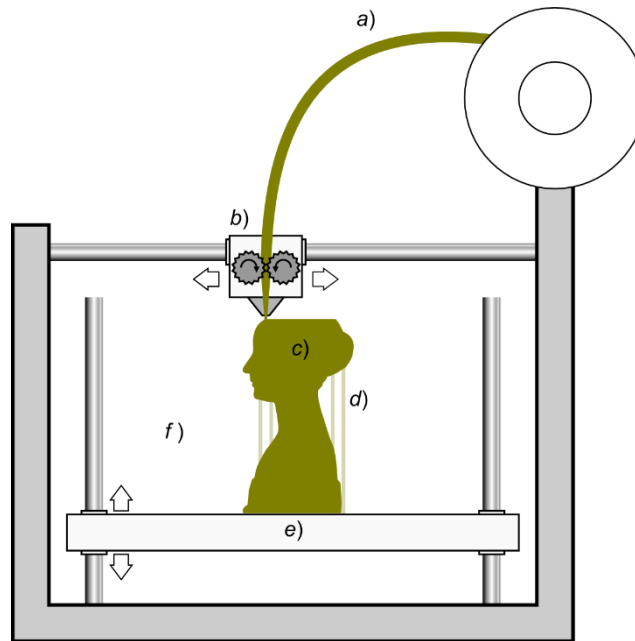
Prednost ove tehnologije je što ne iziskuje potpurnje prilikom izrade predmeta koji su izvan ravnoteže ili su previše složeni jer se oni za vrijeme procesa nalaze unutar praha. (Selective laser sintering, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Selective\\_laser\\_sintering](https://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering) )

### **2) Modeliranje spojenih naslaga**

Materijali koji se koriste prilikom modeliranja spojenih naslaga su polimeri i voskovi, a za potpurnje se koriste materijali topivi u vodi. Softver analizira trodimenzionalni model te se on potom reže i orijentira ovisno o obliku, po potrebi stvara i potpurnje. Stroj ispisuje dva

materijala, jedan od njih je za predmet, dok je drugi za potpornje, a predmet se stvara od dna prema vrhu.

Najveća primjena modeliranja spojenih naslaga je u proizvodnji, tehnologija je razvijena u kasnim 80-im godinama 20. stoljeća. (Fused deposition modeling, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fused\\_deposition\\_modeling](https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_deposition_modeling) )



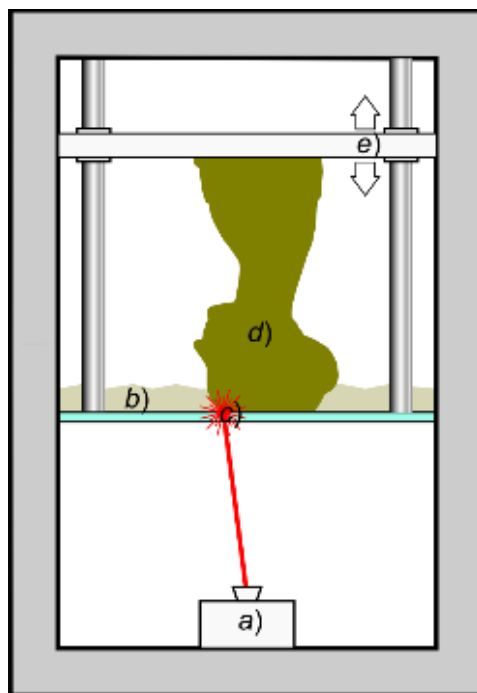
**Slika 8. Shematski prikaz tehnologije modeliranja spojenih naslaga - a) materijal ulazi kroz zagrijanu pokretnu glavu, b) materijal se otapa i slaže sloj po sloj, c) pomična platforma, d) vertikalni potpornji, e) pomična platforma se spušta nakon što se složi pojedini sloj, f) prostor printera**

### 3) Stereolitografija

Kod stereolitografije od materijala se koristi fotopolimer. Aditivni proces koji radi na bazi korištenja UV lasera i posude ispunjene fotopolimerskom smolom, u kojoj laser iscrtava oblik, a UV stvrdnjava sloj fotopolimera. Stvrdnuti sloj se potom spušta u smolu te se procedura ponavlja nakon nanošenja svježeg sloja na vrh.

Potrebni su potpornji koji se stvaraju kod obrade trodimenzionalnog modela, služe i za osiguravanje uspravnosti predmeta, kao i za stabiliziranje predmeta prilikom uranjanja u smolu zbog nanošenja novog sloja. Po završetku procesa predmet se suši u UV pećnici i čisti kemikalijama.

Mana ove vrste 3D ispisa je visoka cijena, pa stoga spada među najskuplje metode trodimenzionalnog ispisa. (Stereolithography, URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Stereolithography> )



**Slika 9. Shematski prikaz stereolitografije - a) laser iscrtava oblik, b) fotopolimerska smola, c) dno spremnika, d) stvrdnuti sloj se spušta pomoću d) pomične platforme**

#### **4) Proizvodnja laminiranih predmeta**

Kod proizvodnje laminiranih predmeta kao sirovine se koriste uglavnom papir, plastika i metal. Proces izrade uključuje spajanje papirnatih, metalnih ili plastičnih slojeva premazanih ljepilom, a potom rezanje nožem ili laserskim rezačem.

Manja je preciznost nego korištenjem stereolitografije i selektivnog laserskog sinteriranja, ali nije potrebno glodanje prilikom obrade predmeta.

Ovo je izuzetno povoljna metoda, niski su troškovi, a što se tiče papirnatih modela, oni se mogu dalje obrađivati poput drva. Prednost je i mogućnost izrade velikih dijelova jer nema kemijskih reakcija u ovom procesu. (Laminated object manufacturing, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Laminated\\_object\\_manufacturing](https://en.wikipedia.org/wiki/Laminated_object_manufacturing) )

#### **5) Topljenje elektronskom zrakom**

Kod metode topljenja elektronskom zrakom koriste se legure titana, a u ovoj metodi stroj iščitava podatke iz trodimenzionalnog modela i potom slaže slojeve metalnog praha, koji se dalje tope i spajaju uz pomoć elektronske zrake koja je navođena računalom.

Rad unutar vakuuma omogućuje rad s reaktivnim materijalima s visokim afinitetom za kisikom. Radi se na temperaturama od 700 do 1.000 stupnjeva Celzijevih, nema dodatne termičke obrade predmeta, a konačni proizvodi su modeli potpune gustoće od metala.

Ova metoda koristi se ponajviše u medicini iz razloga jer su legure titana pogodne za izradu medicinskih pomagala i implantata, dok čvrstoća tog materijala širi primjenu i na aeronautiku te na svemirski program. (Electron beam additive manufacturing, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electron\\_beam\\_additive\\_manufacturing](https://en.wikipedia.org/wiki/Electron_beam_additive_manufacturing) )



**Slika 10. Arcam A2 – uređaj koji koristi tehnologiju topljenja elektronskom zrakom**

## 2.5. 3D digitalizacija

Jedan od često korištenih načina na koji se trodimenzionalna tehnologija veže s očuvanjem baštine je 3D digitalizacija, kojom se dobivaju računalni 3D modeli stvarnih objekata te su kao takvi pogodni za daljnju obradu. Pod obradom se smatra virtualna analiza, mjerenje, korigiranje ili restauriranje, kao i ispisivanje putem 3D printera. Tehnološki korak naprijed koji je omogućio 3D digitalizaciju temelj je modernog trenda u očuvanju baštine.

Tehnika 3D digitalizacije razlikuje se od one klasične, 2D digitalizacije na mnogo načina, što je i logično s obzirom da se za 2D digitalizaciju kao ulazni uređaji koriste samo oni koji bilježe zaprimljeni signal u dvije dimenzije, a treća dimenzija se tek na temelju tih podataka može izračunati. U slučaju 3D digitalizacije najčešće se primjenjuju uređaji koji se koriste laserom (LADAR – Laser Detecting And Ranging) ili bijelim svjetlom (LIDAR – Light Detecting And Ranging) za digitalizaciju. (Stančić H., Zanier K., 2012., 20) Također, mogu se koristiti i stereo sustavi, koje primjerice koriste dva digitalna fotoaparata koji su razmaknuti i istovremeno snimaju 2D slike koje se odmah pretvaraju u prostorne točke.

Višestruke su prednosti ovakve, trodimenzionalne digitalizacije, za očuvanje kulturne baštine. Primjerice, ona omogućuje izradu zaštitnih digitalnih 3D kopija ili zaštitnih fizičkih kopija u izvornom materijalu koje se stavljaju u prostor koji bi svojim atmosferskim prilikama mogao štetiti originalu. Olakšana je i izrada replika u svim veličinama, kao i izrada kalupa za odljeve, a moguće je i virtualno ujediniti objekte koji su fizički razdvojeni, ali tematski bi trebali biti spojeni. Izradom replika u raznim veličinama nudi se mogućnost komercijalizacije pojedinih objekata kulturne baštine, odnosno čitav niz marketinških i tržišnih aktivnosti. Moguća je i 3D digitalizacija arheoloških nalazišta koja omogućuje daljnje crpljenje informacija iz nalazišta bez nužnosti izlaska na teren zbog svake pojedine informacije. Kod spomenika kulturne baštine koristi se 3D skeniranje i potom virtualna restauracija korištenjem osjetilnih uređaja, kao i izrada zaštitnih replika na temelju skeniranja te njihovo postavljanje u prostor. U području paleontologije i antropologije 3D digitalizacija omogućuje virtualno slaganje u cjelinu niza pronađenih komadića neke prijašnje cjeline. (Stančić H., Zanier K., 2012., 21-22)

### **3. Trodimenzionalne računalne simulacije**

Upotreba trodimenzionalne tehnologije prisutna je i kod znanstvene i inženjerske vizualizacije, odnosno simulacije. Među tim tehnikama najpoznatije su virtualna restauracija, virtualna stvarnost te proširena stvarnost, kao kombinacije virtualne projekcije i stvarnosti koja postaje jako popularna, naročito u sektoru turističko-edukativnih sadržaja.

#### **3.1. Virtualna restauracija**

Pod pojmom virtualne restauracije ili virtualne rekonstrukcije podrazumijeva se „reproduciranje artefakata, arhitektonskih kompleksa ili slika pejzaža iz prošlosti, koji su danas očuvani u lošem ili izmijenjenom stanju. Upravo iz tog razloga upotreba virtualnih rekonstrukcija posebno je česta na području arheologije, a pokazala se korisnom i u drugim disciplinama u vezi s baštinom i to u istraživačke i konzervatorske odnosno restauratorske svrhe, ali i prvenstveno u sklopu njene popularizacije.“ (Stančić H., Zanier K., 2012., 63)

Ova tehnologija primjenu i značajnu korist ima prvenstveno za kompleksne kontekste baštine koja uobičajenu grafičku rekonstrukciju čini preopterećenom i manje fleksibilnom za napredno osposobljavanje modela tijekom obnavljanja istraživačkih nalaza. Unutar virtualne rekonstrukcije postoji i zasebna, moderna disciplina, a to je trodimenzionalna rekonstrukcija lica skeleta i mumija, tzv. „facial reconstruction“. Kod suvremenog pristupa tom području predviđa se i upotreba medicinskih tehnologija poput CT-a, za detaljno prepoznavanje osteoloških ili fizioloških elemenata, čak bez uklanjanja obloga, možda i sarkofaga. (Stančić H., Zanier K., 2012., 63)

Virtualna restauracija se može primijeniti i kao korisna aplikacija i na arhivskim izvorima i dokumentima koji su posebno izloženi deterioraciji, a virtualnu restauraciju nekad prati i realna restauracija za koju virtualni model može napraviti i operativnu aplikaciju koja vodi strojnu restauratorsku opremu. Time se može znatno olakšati rad restauratora jer virtualna restauracija samostalno spaja fragmente uz pomoć matematičkih algoritama koji mogu biti podešeni na način da prvenstveno analiziraju homogenost fragmenata te oblike lomova. Primjer takvog značaja virtualne restauracije je prilikom obnove bazilike Sv. Franje u Assisiju nakon snažnog potresa 1997. godine.



Virtualna restauracija usko je povezana s virtualnom stvarnošću, a sama dostupnost digitalno rekonstruiranih sadržaja putem interneta i drugih servisa od velikog je značaja za kulturnu baštinu, pogotovo za njezinu popularizaciju. Također, za razumijevanje konteksta kulturne baštine često je vrlo bitno povezati trenutno stanje s originalnim stanjem. Virtualna stvarnost i sve mogućnosti koje razvojem tehnologije putem nje postaju moguće, su prerasli u najpopularniji tip popularizacije i promocije kulturne baštine.

### **3.2. Virtualna stvarnost**

Virtualnu stvarnost možemo na kratak način definirati kao „povezivanje stvarnih objekata sa svijetom tehnologije“. (Stančić H., Zanier K., 2012., 67).

Riječ je o obliku računalne simulacije u kojoj se sudionik osjeća kao da se nalazi u virtualnom okruženju, a pritom može gledati kroz monitor ili naočale, ali i unositi podatke putem rukavica i druge obuće ili odjeće sa senzorima kojima je u mogućnosti pomaknuti virtualni objekt u simuliranoj okolini. Također, putem takve elektroničke opreme mogu vidjeti i dijelove svog tijela kao dijelove virtualnog svijeta. Osim u kulturnoj baštini, ova tehnologija ima primjene i u drugim područjima kao što su vojno područje, zabavna industrija, arhitektura, psihoterapija i slično. (Virtual reality, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual\\_reality](https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality) )

Sama virtualna stvarnost dobila je svoju novu „verziju“ razvojem semantičkog weba te pratećim povezivanjem svega navedenog s Internetom te postala još moćniji alat i u sklopu područja kulturne baštine. Nekolicina je primjera na kojima se može prikazati kako trenutno funkcionira ponuda virtualne stvarnosti u području kulturne baštine.

### **3.3. Proširena stvarnost**

Proširena stvarnost (eng. augmented reality, AR) je nadograđena, odnosno izmijenjena slika postojeće stvarnosti. Može se opisati kao dio kontinuuma između virtualnog i stvarnog, prema definiciji Milgrama iz 1994. godine, ali i na razne druge načine. (Milgram P., Kishino F, 1994: 1322) No, činjenica je kako je riječ o tehnologiji ili nizu tehnologija koje stvaraju mogućnost za miješanje virtualnog i stvarnog svijeta u realnom vremenu.

U slučaju proširene stvarnosti, korisnik vidi stvarnu sliku nadograđenu informacijama koje su umjetno stvorene. Počela se razvijati krajem posljednjeg desetljeća 20. stoljeća, no idejni koncept proširene stvarnosti postoji još od 1960-ih godina, no njezin je razvoj stagnirao zbog nepostojanja tehnologije koji je mogao taj razvoj omogućiti. Drugim riječima, napredna tehnologija i softverska rješenja omogućila su i razvoj, odnosno popularizaciju proširene stvarnosti u nekolicini sektora.

Proširena stvarnost tipičnom podjelom dijeli se na mobilnu proširenu stvarnost (eng. mobile augmented reality) i prostornu proširenu stvarnost (eng. spatial augmented reality). Mobilna proširena stvarnost korisniku omogućuje promatranje nadograđene slike na zaslonu mobilnog uređaja a pri tome nije potrebno direktno promatranje stvarne slike putem neke od vrsta prozirnog zaslona, već se računalno generirana slika ponovno sistematizira na ranije snimljenoj i spremljenoj slici. Prostora proširena stvarnost se temelji na predviđenim projekcijama svijetla izravno na stvarni svijet, a pri tom se koriste napredni projektori i sustavi proširene stvarnosti. (Bimber O., Raskar, R.: 2005.)

Začetnikom ideje proširene stvarnosti smatra se Ivan E. Sutherland, koji je njenu viziju iznio 1965. godine. (Sutherland, I.E., 1965: 506) Nakon toga je 1968. dizajnirao prvi optički 3D „zaslon za postavljanje na glavu“ (eng. head mounted display, HMD). U slučaju njegovog HMD-a, prozirnim zaslonom na glavi projicirala se računalno generirana slika pomiješana sa fizičkim elementima, no to je bilo moguće samo s vrlo jednostavni informacijama. S ovim Sutherlandovim projektom svijetu se po prvi put prezentirao zaslon kojim su se prikazivali objekti koje ne postoje u stvarnom svijetu, a riječ je o tzv. „ultimativnom zaslonu“. (Sutherland, I.E., 1968: 760)

Razvoj računalno generirane grafike doveo je 1970-ih godina i do interaktivne računalne mape, iz koje se razvila današnja aplikacija Google Street View, odnosno aplikacija koja prikazuje stvarni prikaz prostora iz perspektive šetača. Također, razne industrije, poput filmske, ili vojne, na različite su načine uklapale rane verzije proširene stvarnosti u svoje aktivnosti, a dodatna popularizacija ove tehnologije događa se nakon 1987. godine, zaslugom Jarona Zepela Laniera. Riječ je o računalnom znanstveniku i piscu te vizualnom umjetniku.

Tvrtka Boeing uvela je termin proširene stvarnosti u službenu uporabu, 1990. godine, kad je uz pomoć te tehnologije pronašla rješenje za vođenje radnika kroz tvornicu, što je ubrzalo i olakšalo rad u tvornici, odnosno u konačnici pojeftinilo čitav proces.

Kasnije je Ronald Azuma u svom radu „Pregled proširene stvarnosti“ postavio temelj ove tehnologije kao znanstvene grane, odnosno sažeo dotadašnju povijest proširene stvarnosti i naveo smjer mogućeg daljnjeg razvoja. On je bio ograničen razvojem računalne tehnologije, a njezini napretkom 1997. godine razvijen je Columbia Touring Machine, prvi pokretljivi sustav proširene stvarnosti koji je prikazivao trodimenzionalni vodič nekog urbanog središta, odnosno u slučaju prototipa bila je to „šetnja“ kroz kampus. (Azuma R. T., 1997: 380)

Ključ šireg korištenja proširene stvarnosti bio je u razvoju prijenosnih računalnih uređaja, koji su svojom veličinom bili jednostavni za nošenje i pogodni za dugotrajnu upotrebu u pokretu.

### **3.3.1. Hardver proširene stvarnosti**

Proširena stvarnost kao sustav koristi pripadajući hardver i softver. Potrebna je neka vrsta računala koje generira i kontrolira virtualne elemente, odnosno programi koji precizno određuju lokaciju te programi za kalibraciju koji se koriste kad je korisnikov pogled fiksiran. Neophodan je zaslon za prikaz slika virtualnog i stvarnog svijeta te njihovih kombinacija te interakcijska tehnika između korisnika i računala. U slučaju mobilnosti, koja je vrlo česta, potreban je i bežični način povezivanja i prijenosa podataka.

Tehnološku stranu proširene stvarnosti možemo podijeliti na nekoliko stavki:

#### **1) Računalo**

U kontekstu proširene stvarnosti računalo služi za obradu podataka dobivenih procesima praćenja i registracije, koje potom dovode do prikazivanja obrađenih detalja na zaslonu.

Nekoć su tehničke specifikacije potrebne za funkcioniranje proširene stvarnosti iziskivale upotrebu glomaznijih uređaja, ali tehnološkim napretkom, pogotovo smanjivanjem grafičkih čipova, došlo se do mogućnosti da i uređaji za omogućavanje proširene stvarnosti budu znatno manji. Sve to pridonosi funkcionalnosti.

Prema Höllneru, kod izbora računala, odnosno hardvera proširene stvarnosti treba voditi računa oko nekolicine čimbenika:

- a) oblik i veličina,

- b) grafičke i multimedijalne mogućnosti,
- c) mogućnost proširenja i nadogradnje komponenti,
- d) memorija,
- e) potrošnja energije,
- f) operativni sustav,
- g) tehnička podrška,
- h) cijena.

Čimbenici su često u korelaciji, pogotovo cijena u odnosu na sve ostale, no zaključak je kako je dobro računalo temelj svake proširene stvarnosti.

## **2) Sustav za praćenje i registraciju**

Kako bi se proširena slika stvarnosti na pravi način projicirala te činila prirodnu cjelinu, potrebno je pratiti poziciju korisnika te sve važnije elemente u njegovoj okolini.

Potrebno je to ponajprije radi smještanja virtualnih elemenata u koordinatni sustav sa stvarnim elementima, koji se na taj način simuliraju iz perspektive korisnika. Ukoliko se simulirani elementi ne pojave na pravom mjestu u stvarnom svijetu, dolazi do greške registracije ili poklapanja.

Riječ je o ponajvećoj poteškoći u projektima proširene stvarnosti jer je potrebna vrlo velika preciznost. Naime, ljudsko oko reagira na pomake manje od jedne kutne minute.

Dio sustava praćenja proširene stvarnosti preuzet je iz sustava virtualne stvarnosti, a koristi se nekoliko vrsta praćenja. Može biti riječ o magnetskim, ultrazvučnim, mehaničkim, optičkim sustavima praćenja te o hibridnom i GPS praćenju.

Najčešće se koristi GPS (eng. Global Positioning System), iz razloga njegove najveće rasprostranjenosti u svijetu modernih tehnologija, a navigacijski satelitski sustav omogućuje precizno pozicioniranje, navigaciju i utvrđivanje točnih lokacija, neovisno o vrsti vremenskih uvjeta.

### **3) Zaslون**

Zaslون je izlazni uređaj proširene stvarnosti, a postoje dva moguća pristupa korištenja. Jedan je korištenjem zaslona koji se postavlja na glavu (HMD, eng. head-mounted display) , a drugi je video zaslon koji je mobilni ili je na neki način integriran u fizički svijet. (Prochazka D., Koubek T., 2011)

#### **a) Zaslون koji se postavlja na glavu**

Zaslون koji se postavlja na glavu je uobičajeno rješenje kod projekata proširene stvarnosti, ujedno opcija koja pruža najbolji doživljaj proširene stvarnosti. Interakcija se u ovom slučaju ostvaruje uz pomoć uređaja za praćenje pokreta, koji su ugrađeni u ovakve zaslone.

Dvije su opcije pristupa kod ovih zaslona. Kod opcije optičkog prozirnog zaslona slika se projicira kroz optički sustav, a korisnik vidi virtualnu sliku kroz naočale kao uređaj. Virtualni elementi projiciraju kao sloj preko poluprozirnog stakla, dok se virtualna slika stvara na udaljenosti dovoljnoj oku da ju ispravno detektira. Pametne naočale koje se koriste u ovom slučaju u sebi imaju ugrađenu kameru, zvučnike, procesor, GPS, mikrofون, Wi-Fi i Bluetooth, a u staklenoj prizmi nalazi se minijturni projektor koji stvara sliku proširene stvarnosti.

U drugom slučaju, a riječ je o video prikazu, koristi se kamera za snimanje slike, koja se prikazuje na zrcalu montiranom ispred očiju korisnika, a na koje se prosljeđuje putem zaslona te se dodaje virtualni sloj. Zaslon može biti i ispred oba oka korisnika i ispred samo jednog oka korisnika, a u ovom slučaju važno je nekoliko svojstava tog zaslona: težina, veličina, udobnost, rezolucija te vidno polje koje se može proširiti uporabom optike bez promjene rezolucije. Prilikom korištenja ovog pristupa, bitna je stavka da rezolucija bude visoka, kako se ne bi pojavila „zrnatost“, odnosno manja kvaliteta slike te doživljaja korisnika.

Također, u procesu razvijanja je još jedna vrsta zaslona koji se postavlja na glavu, a naziva se Virtualni zaslon mrežnice (eng. Virtual retinal display, VDR). U njegovom slučaju virtualna slika se projicira direktno na mrežnicu oka korisnika, a to se postiže upotrebom niskofrekventnog lasera čije zrake svjetlosti crtaju virtualnu sliku. Pionir u razvoju ove tehnologije bila je tvrtka Microvision.

Načelno sav tehnološki razvoj i pokušaj napretka vodi prema minijaturizaciji uređaja koji se koriste u proširenoj stvarnosti, pa i zaslona koji se postavlja na glavu, od kojih se traži da budu što lakši, sa što manjim okvirima i što udobniji korisniku. (Azuma R. T., 1997: 380)



**Slika 11. Vuzix AR3000 - pametne naočale za proširenu stvarnost**

#### **b) Mobilni zaslon**

Mobilni zaslon naziva se još u ovom kontekstu i ručni zaslon, a on s ugrađenom kamerom projicira stvarne objekte u kombinaciji s virtualnima. Za njegovu upotrebu treba se instalirati neka od aplikacija za proširenu stvarnost, a ovakvo korištenje dostupno je putem pametnog mobilnog telefona, danas uvelike rasprostranjenog komada tehnologije. Može se reći da je ova vrsta zaslona uznapredovala paralelno s razvojem pametnih telefona, odnosno zaslona osjetljivih na dodir karakterističnih za takve telefone te tablete.

#### **c) Projekcijski zaslon**

U slučaju projekcijskog zaslona riječ o direktnom projiciranju virtualnih informacija na stvarni objekt, odnosno direktno miješanje virtualnih i stvarnih objekata u realnom vremenu. U slučaju da korisnik ovakav zaslon nosi na glavu, vidi u svom vidokrugu projicirane slike na objektima, no to je izvedivo ako su promatrani objekti u stvarnom svijetu prekriveni retro-reflektirajućim materijalom, koji omogućuje da se svjetlost, odnosno slika reflektira natrag. Tako, primjerice, više korisnika može nositi različite projektore, te slike koje vide na promatranom objektu mogu biti različite, iako je objekt isti. (Prochazka D., Koubek T., 2011)

#### **d) Kontaktne leće**

Kontaktne leće su budućnost što se tiče zaslona proširene stvarnosti, besprijekorno se uklapaju u težnju što boljeg uklapanja virtualne stvarnosti u stvarni svijet i eliminiraju problem

sučelja kao najvećeg problema kod što boljeg doživljavanja proširene stvarnosti. Samsung je, primjerice, dobio nagradu za svoj patent kontaktnih leća ovog tipa, koje neće služiti samo kao projekcijsko sredstvo, već će sadržavati i sitnu kameru, senzore pokreta i odašiljač. To znači da će korisnik biti u mogućnosti treptanjem snimati slike i potom ih odmah gledati, kao i gledati preko leća projicirane slike s povezanog pametnog telefona.<sup>1</sup>

Također, primjer projekta poput ovog je razvoj Microsoftovog Hololensa, a na sličnim projektima rade i tehnološki giganti Apple i Google.

#### **4) Bežično povezivanje**

Bežično povezivanje i bežične mreže omogućava obradu podataka te njenu razmjenu na različitoj udaljenosti, na mnogo elegantniji i za korisnika prihvatljiviji način. Nužnost bežičnog povezivanja došla je razvojem prenosivog hardvera proširene stvarnosti, a sve zajedno dovelo je do lakše i brže razmjene i obrade podataka, neovisno o mjestu na kojem se to odvija.

Današnja pokrivenost bežičnom mrežom uvelike olakšava korištenje proširene stvarnosti, odnosno prebacivanjem podataka na servere na kojima se obrađuju eliminira velike uređaje koji se ranije koristili u tu svrhu, a koji su bili dosta nezgrapni s obzirom na potrebe primjene. Nekolicina je tehnologija koje se pritom koriste, tu su WLAN (eng. Wireless Local Area Network), Wi-Fi, Bluetooth, GPRS i druge.

#### **3.3.2. Softver proširene stvarnosti**

Hardver proširene stvarnosti za funkcioniranje treba pripadajući softver, odnosno određeni program koji pokreće proširenu stvarnost. Na tom polju postoji čitav niz različitih softverskih rješenja i stalno se taj segment razvija i na raspolaganju su nova rješenja.

Nekoliko je njihovih glavnih značajki, odnosno zadaća. Prije svega, softver proširene stvarnosti obrađuje podatke koje dobiva putem kamere, obrađuje podatke o lokaciji, odnosno

---

<sup>1</sup> Pocket-lint: Samsung contact lense displays will put AR video and cameras in your eyes, URL: <http://www.pocket-lint.com/news/137239-samsung-contact-lens-displays-will-put-ar-video-and-cameras-in-your-eyes>

utvrđuje i usklađuje koordinate iz stvarnog svijeta. Drugim riječima, radi na registraciji korisnika u stvarnom svijetu.

To se odvija u dvije faze: jedna je otkrivanje ključnih točaka u stvarnosti uz pomoć slika kamere, a druga faza uključuje vraćanje koordinata iz stvarnog svijeta, prikupljenih u prvoj fazi. Kod nekih metoda pretpostavljaju se metode znane geometrije, dok ukoliko nema podataka o geometriji, koristi se struktura od metoda pokreta. Također, druga faza može uključivati korištenje matematičkih metoda poput epipolarne geometrije, geometrijske algebre, rotacije zastupljenosti s eksponencijalnim kartama, nelinearne optimizacije i sličnih.

Postoje i neki primjeri jednostavnije verzije proširene stvarnosti, odnosno besplatnih programa kojima se može kreirati iskustvo proširene stvarnosti bez nekog velikog znanja u području programiranja. Jedan od takvih besplatnih alata je primjerice Aurasma Studio.

Gledajući širu sliku, ključna stvar prosudbe kvalitete softvera za proširenu stvarnost je uspješnost integriranja virtualnih elemenata sa stvarnošću. (Augmented reality, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented\\_reality](https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality) )

### **3.4. Razlika između proširene stvarnosti i virtualne stvarnosti**

Korištenjem pojmova proširene stvarnosti (eng. Augmented Reality) i virtualne stvarnosti (eng. Virtual Reality) može doći do nejasnoća zbog njihove sličnosti, kao i njihove sadržajne sličnosti. Zbog toga, potrebno je razjasniti što ova dva pojma razlikuje, odnosno zbog čega to unatoč velikom broju dodirnih točaka nisu istoznačnice.

Prije svega, niz je razlika u tehnologiji koja se koristi, a u ovom slučaju od pomoći su definicije T. H. Höllerera, koji navodi kako virtualna stvarnost pokušava kreirati umjetan svijet kojeg čovjek može iskusiti i istraživati interaktivno, kroz svoja osjetila i ostale oblike povrata informacija, dok za proširenu stvarnost kaže kako nudi interaktivno iskustvo te joj je cilj dopuna stvarnog, a ne kreiranje potpuno novog svijeta. (Höllerer, T.H., Feiner S.K., 2004: 98)

Nastavno na ovu definiciju, virtualna stvarnost koristi drugu dimenziju te čovjeka vodi u računalno generirani svijet, koji doživljava kao nešto posve novo, sasvim novoizgrađeni svijet koji nema u tom trenutku dodira sa stvarnim svijetom. Primarna osjetila čovjeka pritom su potpuno kontrolirana od strane računala. Virtualni prostor je u potpunosti umjetno stvoren, a virtualni objekti koje korisnik vidi i situacije koje doživljava postoje samo u svojoj srži. Njihovo



postojanje je objektivno i formalno ih nema u stvarnosti te ih je nužno uvijek simulirati. (Bugarić, M., 2013: 7)

S druge strane, proširena stvarnost se razvila nakon virtualne stvarnosti, iz razloga što ona uvjetuje složenije tehnološke specifikacije, mada je u konačnici jednostavnija za realiziranje od virtualne stvarnosti. Razlog je što se za njeno izvođenje tek nadopunjuje postojeća okolina dodavanjem virtualnih elemenata, ne treba kreirati sasvim novu okolinu. Ipak, ona se susreće s dinamikom stvarnog svijeta koja je uglavnom teška za kontroliranje, a nerijetko i nepredvidiva.

Također, javlja se i termin miješane stvarnosti, kojoj zapravo pripadaju i proširena i virtualna stvarnosti, a nastaje kombiniranjem stvarnog i virtualnog svijeta.

## **4. Upotreba trodimenzionalne tehnologije u baštini**

Upotreba trodimenzionalne tehnologije u porastu je u svim granama i sektorima, pa tako i u baštini, gdje nudi priliku i za pružanje što veće atraktivnosti postojeće ponude vezane uz kulturnu baštinu, ali i za zaštitu pojedinih primjeraka kulturne baštine kroz njezinu izloženost korisnicima pomoću aplikacija baziranim na trodimenzionalnim tehnologijama.

### **4.1. Primjeri upotrebe trodimenzionalne tehnologije u turističke i edukativne svrhe**

Jedne od grana, vezanih uz baštinu, koje prednjače u korištenju trodimenzionalne tehnologije su turizam i edukacija, odnosno niz je aplikacija i projekata u kojima je trodimenzionalna tehnologija u službi turističke i edukativne svrhe, vrlo često i za jedno i za drugo na istom projektu. Nekolicina je takvih primjera, a između ostalog i UNESCO-va Povelja o očuvanju digitalne baštine vezana je uz tu temu.

#### **4.1.1. UNESCO-ova Povelja o očuvanju digitalne baštine**

Važnost konteksta očuvanja svake baštine pa tako i one digitalne iskazana je i Poveljom o očuvanju digitalne baštine, koja je izdana 15. listopada 2003. godine. Ona kroz 12 članaka iskazuje principe koje treba primijeniti u očuvanju i postupanju s digitalnom baštinom.

Principi: (UNESCO, 2003.)

##### **1) Digitalna baština kao uobičajena baština**

##### **Članak 1. – Djelokrug**

Digitalna baština sastoji se od jedinstvenih resursa ljudskog znanja i izražavanja. Ona obuhvaća kulturne, obrazovne, znanstvene i administrativne resurse, ali i tehničke, pravne, medicinske i druge vrste informacije koje su stvorene digitalno ili su prebačene iz analognog u digitalni oblik. Kod onih informacija koje su izvorno nastale u digitalnom obliku niti ne postoji drugi format tog digitalnog objekta.

Digitalni materijali uključuju tekstove, baze podataka, slike, audiozapise, grafike, softvere, web stranice i još neke formate koji iziskuju svrhovitu proizvodnju, održavanje i upravljanje njima. Mnogi od takvih resursa imaju veliku vrijednost i značaj, predstavljaju naslijeđe koje treba zaštititi i sačuvati za sadašnje, ali i buduće generacije, u bilo kojem dijelu svijeta.

## **Članak 2. – Pristup digitalnoj baštini**

Svrha očuvanja digitalne baštine je njena dostupnost javnosti, a ona, pogotovo kod baštine od javnog interesa, ne smije imati ograničenja. S druge strane, osjetljivi i osobni podaci trebaju biti zaštićeni od bilo koje vrste zloupotrebljavanja.

Države članice UNESCO-a trebaju surađivati s relevantnim organizacijama i institucijama koje će povećati dostupnost digitalnog naslijeđa. Treba postojati ravnoteža između zakonskih prava stvaratelja baštine i interesa javnosti za pristup toj baštini, koju treba promicati u skladu s međunarodnim normama i sporazumima.

### **2) Obrana od gubitka baštine**

## **Članak 3. – Prijetnja gubitka**

Digitalna baština na razini cijelog svijeta u opasnosti je da bude nedostupna za buduće generacije, nekolicina je čimbenika koji tome pridonose poput brzog zastarijevanja hardvera i softvera, neizvjesnost vezana uz resurse, postupci održavanja i čuvanja te nedostatak prave podrške zakonodavstva.

Digitalna evolucija je previše brza i skupa da bi je vlade i relevantne institucije pravodobno pratile i razvijale strategiju, ali prijetnja koju nosi gubitak ekonomskog, društvenog, intelektualnog i kulturnog potencijala te baštine nije sasvim shvaćen.

## **Članak 4. – Potreba za djelovanjem**

Ukoliko se ne reagira i ne anulira prijetnje koju su prepoznate, digitalnoj baštini neizbježno prijeti gubitak u skoroj budućnosti. Države članice trebaju poticati pravne, ekonomske i tehničke mjere za očuvanje baštine, od čega će na koncu same imati koristi. Bitno je što hitnije podizanje svijesti i zagovaranje takvog djelovanja, upozoravanje kreatora političkih odluka, kao i razvijanje svijesti kod šire javnosti o potencijalu digitalnih resursa i važnosti očuvanja digitalne baštine.

## **Članak 5. – Digitalni kontinuitet**

Kontinuitet digitalnog nasljeđa jedan je od temelja očuvanja digitalnog nasljeđa. Za njegovo očuvanje treba poduzimati mjere tijekom cijelog životnog ciklusa digitalne informacije, od nastanka do pristupa toj informaciji. Dugoročno očuvanje digitalne baštine započinje s dizajnom pouzdanog sustava i procesa koji će dovesti do autentičnosti i stabilnosti digitalnih objekata.

### **3) Potrebne mjere**

## **Članak 6. – Razvijanje strategija i politika**

Strategije i politike očuvanja digitalne baštine treba razviti uzimajući u obzir razinu hitnosti potrebe za djelovanjem u određenim okolnostima, kao i lokalne okolnosti, raspoloživa sredstva i buduća predviđanja. Olakšavanje donošenja strategije i politike može doći uz suradnju nositelja autorskih prava te drugih zainteresiranih strana, kroz donošenje zajedničkih standarda, odnosno kompatibilnosti i načina dijeljenja resursa.

## **Članak 7. – Odabiranje što će se zadržati**

Kao i kod svake dokumentirane baštine, načela se mogu razlikovati od države do države, no glavni kriterij za odlučivanje je koliki je njihov značaj te trajna kulturna, znanstvena ili neka druga vrijednosti. Prioritet trebaju imati materijali izvorno nastali u digitalnom obliku, a sve naknade poteze treba provoditi na odgovoran način, na temelju principa, pravila, procedura i standarda.

## **Članak 8. – Zaštita digitalne baštine**

Države članice UNESCO-a trebaju imati odgovarajuće zakonske i institucionalne okvire kako bi osigurali zaštitu njihove digitalne baštine, koju trebaju obuhvatiti kao ključni element nacionalnog očuvanja politike, arhive zakonodavstva i pravnog ili dobrovoljnog depozita u knjižnicama, arhivima, muzejima i drugim javnim spremištima.

Pristup pravnog depozita digitalne baštine treba biti osiguran u razumnim ograničenjima bez nanošenja štete od svoje eksploatacije, a pravni i tehnički okviri za autentičnost su od velike važnosti za sprječavanje manipulacije i zloupotrebe digitalne baštine. Oni iziskuju da se sadržaj i funkcionalnost dokumentacije održava u mjeri u kojoj se može osigurati autentičnost zapisa.

## **Članak 9. – Očuvanje kulturne baštine**

Digitalna baština je sama po sebi neograničena vremenom, kulturom ili formatom i digitalna baština svim regijama, državama i zajednicama treba očuvati i učiniti ju dostupnima, kako bi se osigurala tijekom vremena predstavljajući sve ljude, države, kulture i jezike.

### **4) Odgovornosti**

## **Članak 10. – Uloge i odgovornosti**

Države članice UNESCO-a mogu odrediti jednu ili više agencija za koordiniranje odgovornost za očuvanje digitalne baštine i stavljanje na raspolaganje potrebnih informacija, a podjela zadataka i odgovornosti može se temeljiti na postojećim ulogama i stručnosti.

Treba poduzeti niz mjera bi se proizvođače hardvera i softvera, izdavače, proizvođače i distributere digitalnih materijala i druge potaklo na suradnju s nacionalnim knjižnicama, arhivima, muzejima i drugim javnim organizacijama koje rade na očuvanju digitalne baštine.

Također, treba poduzeti mjere obuke i istraživanje te podijeliti iskustva među institucijama i strukom općenito po ovom pitanju, kao i poticati sveučilišta i druge istraživačke organizacije, privatne i javne, na osiguravanje očuvanja znanstvenih podataka u digitalnom obliku.

## **Članak 11. – Partnerstvo i suradnja**

Očuvanje digitalne baštine zahtjeva trajan zajednički napor vlade, autora, izdavača, relevantne industrije i ustanova zaduženih za očuvanje baštine. Potrebno je ojačati međunarodnu suradnju i solidarnost kako bi se svim državama omogućilo stvaranje, širenje, očuvanje i nastavak dostupnosti njihovog digitalnog nasljeđa. Industriju, izdavače i masovne medije treba pozvati na promicanje i razmjenu znanja i tehničke stručnosti, a stimulacijom programa obrazovanja i osposobljavanja te širenja rezultata istraživanja i najbolje prakse demokratizirat će se pristup digitalnim tehnikama konzerviranja.

## **Članak 12. – Uloga UNESCO-a**

UNESCO-va odgovornost se može podijeliti na nekoliko stavki:

- a) uzimanje u obzir principa navedenih u Povelji, za funkcioniranje svojih programa i promicanja njihovog provođenja u okviru sustava Ujedinjenih naroda i među

međunarodnim vladinim i nevladinim organizacijama koje se bave očuvanjem digitalne baštine,

- b) služenje kao referentna točka i forum u kojem će se države članice i međunarodne vladine i nevladine organizacije, civilno društvo i privatni sektor moći povezati u razradi zajedničkih ciljeva, politike i projekata u korist razvoja metoda očuvanja digitalnog nasljeđa,
- c) promicanje suradnje, podizanje svijesti, izgradnja kapaciteta te predlaganje standarda etičke, pravne i tehničke smjernice za razvoj i očuvanje digitalne baštine,
- d) određivanje, na temelju iskustva stečenog u provedbi Povelje, o postojanju potrebe za daljnjim standardnim postavljanjem instrumenata za promicanje i očuvanje digitalnog nasljeđa.

#### **4.1.2. Google Art**

Jedan od primjera je projekt Google Art, osmišljen i napravljen od strane tvrtke Google, a on omogućuje pregledavanje i doživljaj promatranja do najsitnijih detalja tisuća probranih umjetničkih djela, uz pripadajuće opise. Time su objekti iz muzeja putem tehnologije virtualne stvarnosti i interneta plasirani u sasvim novi virtualni prostor te su postali dodatno dostupni javnosti. Također, uz uvid u svako pojedino umjetničko djelo od njih tisuća, korištenjem Googleove tehnologije Street View moguća je i virtualna „šetnja“ najpoznatijim svjetskim muzejima, kao što su Tate u Londonu, Uffizi u Firenci, Metropolitan u New Yorku, Van Goghov muzej u Amsterdamu i ostali. Prilikom šetnje korisnicima je omogućeno zaustavljanje pored svakog pojedinog izložka te „ulazak“ u opciju detaljnijeg pregledavanja. Uz navedeno, moguće je i stvaranje „personaliziranih“ virtualnih zbirki, kojima korisnici probiru najdraže od niza umjetničkih djela i potom ih mogu dijeliti s ostalim korisnicima. (Google Art Project, URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Google\\_Art\\_Project](https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Art_Project) )

#### **4.1.3. Rome Reborn**

Rome Reborn je međunarodna inicijativa koja za cilj ima izradu trodimenzionalnih digitalnih modela kojima se prikazuje razvoj starog, antičkog Rima od prvih naselja na području

tog grada u vremenu kasnog brončanog doba do pada populacije grada u ranom srednjem vijeku.

To je projekt koji se krenuo razvijati 1997. godine, a koji je proizašao kao kolaboracija sljedećih institucija: Virtual World Heritage Laboratory of the University of Virginia (VWHL), UCLA Experiential Technology Center (ETC), Reverse Engineering Lab s instituta Politecnico di Milano, Ausonius Institute of the CNRS, University of Bordeaux-3 i University of Caen.

Uz savjet mjerodavnih međunarodnih tijela (Scientific Advisory Committee) odlučeno je da početak gradnje prikaza u projektu bude 21. lipnja 320. g. n.e., iz vremena iz kojeg datira većina sačuvanih građevina, što je olakšavalo proces rekonstrukcije u odnosu da se, primjerice, krenulo iz ranije faze povijesti. Također, bitno je u tom kontekstu što je to vrijeme kad je Rim bio u zenitu svoje naseljenosti, a ujedno je i doba prije izgradnje velikih monumentalnih kršćanskih crkvi i ostalih građevina, nakon tog datuma tek je nekolicina velikih građevina podignuto. Iz te spomenute vremenske točke je zamišljeno da se dalje prikaz širi unatrag i unaprijed, vremenski gledano.

Što se tiče upotrebe 3D tehnologije u ovom projektu, na službenim stranicama je istaknuta njezina važnost zbog mogućnosti prikaza prostora i što točnijeg prezentiranja informacija i teorija o tome kako je grad izgledao u tom vremenu, zapravo u fazi vrhunca svoje razvijenosti. Druga misija upotrebe 3D tehnologije, jednako važna, bila je stvoriti određenu virtualnu infrastrukturu koju je moguće naknadno nadograđivati, ispravljati i širiti.

Sve prikupljeno znanje o tadašnjem izgledu grada iskorišteno je kako bi se stvorila virtualna rekonstrukcija drevnog Rima, slijedeći topografiju, urbanu infrastrukturu i izgled istaknutih građevina. Informacije koje su se za projekt vukle od strane raznih arheoloških istraživanja i zaključaka povjesničara također su stavljene na uvid korisnicima, čime je Rome Reborn dobio snažnu multifunkcionalnu ulogu. Primjerice, može biti korišten prilikom edukacije učenika, studenata ili obične javnosti, o tome kako je Rim detaljno izgledao, kao ostvarenje koje sve dosadašnje utvrđene povijesne činjenice okuplja unutar jednog, multimedijskog programa. Putem ovog programa mogu se raditi i razni drugi eksperimenti u području arhitekture i urbanizma, od toga kako je ovakav urbanistički plan funkcionirao u određenim situacijama do nekih drugih pitanja, a digitalni model Rima pomaže i prilikom potencijalnih novih arheoloških otkrića.

Autori su istaknuli da postoje dvije vrste izvora informacija, kao i dvije vrste digitalnih građevina unutar Rome Reborna.

Što se tiče izvora, jedno su pouzdani arheološki izvori o pojedinim građevinama i lokacijama od velikog značaja, a drugo su opća znanja o „običnim“ građevinama i njihovoj učestalosti pojavljivanja u pojedinim područjima grada.

Ovakvi tipovi izvorna informacija generirali su i dva tipa digitalnih građevina koje se pojavljuju u Rome Rebornu:

- 1) visokodetaljni modeli građevina koji su rekonstruirani na temelju detaljnih i pouzdanih dokumenata, primjerice Rimski forum, Forum Julija Cezara i slične lokacije,
- 2) građevine i ostali sadržaji koje se zna zapravo samo po tipu građevina i učestalosti pojavljivanja po kvantitativnim podacima o raspodjeli vrta građevina u okruzima Rima, što je dovelo do procjene njihovih pozicija i učestalosti u digitalnoj verziji Rima.

Građevina prve skupine se procjenjuje na 200-tinjak u Rome Rebornu, dok je spomenutih građevina druge skupine ima između sedam i deset tisuća.

Projekt je krenuo od verzije Rome Reborn 1.0, koja je dostupna za pregledavanje putem servisa Google Earth. Trenutno je u projekt u fazi Rome Reborn 2.2., a autori su radi ubrzanja procesa restauriranja pristali objaviti modele koje je netko drugi napravio, što je otvorilo mogućnost sudjelovanja u projektu svakome tko posjeduje dovoljne vještine modeliranja. (Rome Reborn, About. URL: <http://www.romereborn.virginia.edu/about.php> )



**Slika 12. Rome Reborn**



## **5. Proširena stvarnost na tvrđavi Barone**

Proširena stvarnost na tvrđavi Barone primjer je primjene proširene stvarnosti u turističke i edukativne svrhe istovremeno, na primjeru jednog eksternog muzejskog prostora. Rijedak je to primjer ovakve upotrebe proširene stvarnosti u Hrvatskoj, pa i u cijeloj regiji, koji je u kratkom roku prošao put od ideje do uspješne realizacije i korištenja.

### **5.2. Povijest tvrđave Barone**

Tvrđava Barone sagrađena je 1646. godine, a smještena je također na uzvisini, na osamdesetak metara visokom brdu Vidakuša iznad grada. Do njene gradnje došlo je iz razloga sve lošijeg stanja postojećih obrambenih zidova te stanja tvrđave sv. Mihovil, koja je u ovo vrijeme bila osjetljiva i na topovsku paljbu zbog činjenice da je bila dosta viša od okolnih brda.

Stoga se uslijed izbijanja rata između Osmanskog Carstva i Venecije krenulo u izgradnju tvrđave Barone 1646. godine. Istovremeno, započela je i gradnja još jedne tvrđave, današnje tvrđave sv. Ivana., svega stotinjak metara udaljene od tvrđave Barone.

Tijekom nekoliko mjeseci obje tvrđave su dovršene, a njihova gradnja veoma je zaslužna što je vrlo jak osmanski napad u rujnu 1647. godine odbijen, a osmanska vojska je brojala velike gubitke.

Tvrđava Barone sagrađena je u obliku nepravilne zvijezde, po svim standardima tadašnjeg vremena, a posebno je s dva polubastiona utvrđen njen sjeverni dio. Projektirao ju je fra Antonio Leni, inženjer iz Genove, dok je izgradnju organizirao i nadzirao zapovjednik obrane Šibenika, barun Christoph Martin von Degenfeld, poznat kao barun Degenfeld. Njemu u čast su građani kasnije tvrđavu nazvali Barone, unatoč činjenici da je kraj nje postojala crkvice sv. Vida, pa je po analogiji po kojoj je prva tvrđava dobila ime, i ova trebala po crkvici. Uostalom, sve ostale tvrđave ime su dobile po sakralnim objektima u svojoj blizini.

Tijekom godina, do uređenja koje je završeno 2015. godine, tvrđava Barone je uvelike zapuštena, iako je na njoj postojao i ugostiteljski objekt, prije toga i objekt koji je služio kao meteorološka postaja.

### **5.3. SWOT analiza projekta proširene stvarnosti na tvrđavi Barone**

Promatrajući projekt implementacije aplikacije proširene stvarnosti na tvrđavi Barone, potrebno ju je sagledati iz konteksta turističko-edukativne aplikacije, odnosno i iz konteksta aplikacije kao jake marketinške snage projekta revitalizacije tvrđave Barone u cjelini.

#### **a) Snage**

Proširena stvarnost sama po sebi je snaga jer je inovativna aplikacija koju prati atraktivnost, a pogotovo u ovoj situaciji, kad je povezana s geografski atraktivnom lokacijom te atraktivnom pričom koja je istovremeno i edukativna te može biti korištena paralelno u turističke i edukativne svrhe.

Svakako je i u startu ovaj projekt osuđen na odobravanje jer ovakvi projekti revitalizacije baštinskih spomenika uz prateće korištenje najmodernijih aplikacija i tehnologije nailaze na snažnu podršku šire javnosti. Snažan turistički impuls Šibeniku u proteklom godinama dodatni je razlog zašto bi ulaganje u ovu aplikaciju moglo donijeti dugoročnu korist, odnosno zašto bi proširena stvarnost na tvrđavi Barone trebala biti uvelike korištena.

#### **b) Slabosti**

Potencijalne slabosti ovog projekta su nešto manje, prije svega tu je činjenica da proširena stvarnost postaje nositelj turističke ponude tvrđave Barone i kao takva može stvoriti i prevelika očekivanja kod korisnika, odnosno dovesti i do ne toliko pozitivnih komentara nakon korištenja.

Jedna od slabosti je i nedostatak ostalih atraktivnih sadržaja na tvrđavi Barone, ali i činjenica da ponovno korištenje ove aplikacije nije toliko vjerojatno jer postaje monotono.

#### **c) Prilike**

U regiji je relativno mala primjena i zastupljenost novih tehnologija u praktičnoj primjeni, a proširenu stvarnost možemo definirati kao novu tehnologiju. Uvođenje nove tehnologije u muzejski prostor poput tvrđave nudi priliku dugoročne modernizacije muzejskih prostora na ovom području.

Šalje se poruka oko postojanja razvojne strategije modernizacije prezentiranja kulturne baštine, što izaziva veliki interes i odobravanje kod lokalne i regionalne vlasti i javnosti, kao i kod potencijalnih sponzora.

#### **d) Prijetnje**

Za početak, treba premostiti svojevrsni jaz i udaljenost kulturnog i turističkog sektora na širem području Šibenika, gdje se nameće prva od mogućih prijetnji. Sljedeća je ona vezana uz moguću kratkotrajnu zainteresiranost lokalne javnosti, odnosno statistika relativno kratkog zadržavanja stranih gostiju u gradu Šibeniku.

Otegotna okolnost su i niska znanja u javnosti o modernim tehnologijama i njihovom korištenju, odnosno mogućnost nedovoljno dobrog marketinškog komuniciranja proizvoda prema ciljanoj javnosti.

### **5.4. Projekt proširene stvarnosti na tvrđavi Barone**

U sklopu revitalizacije tvrđave Barone pod sloganom „Barone – otkrivanje bogate prošlosti, put prema uspješnoj budućnosti“ zamišljena je implementacija proširene stvarnosti kao glavne dodatne atrakcije cijele tvrđave, te na inovativan način dati obol turističkoj ponudi grada, ali i edukativnu notu ovoj turističkoj atrakciji.

Osnovna ideja bila je prezentacija povijesti, odnosno cijele priče vezane uz tvrđavu Barone i Šibenik, kroz modernu tehnologiju. Stvaranje takve zanimljive ponude podignulo je turističku vrijednost ove lokacije i zapravo je cijeli projekt bio od strateškog značaja za unaprjeđenje šibenskog turizma.



**Slika 13. Proširena stvarnost na tvrđavi Barone**

### **5.5. Hardver proširene stvarnosti na tvrđavi Barone**

Prilikom implementacije proširene stvarnosti na tvrđavi Barone korišten je jedan od suvremenijih hardvera u svijetu te tehnologije. Riječ je o Moverio pametnim naočalama tvrtke Epson, čiji je model BT-300 među najlakšim pametnim naočalama na tržištu i nositelj su novih standarda u ovom sektoru tehnologije. U ovom konkretnom slučaju korišten je nešto slabiji model, BT-200. Bazirane su na siliciju, koji je zamijenio staklo kao bazni sloj, što je dovelo do mogućnosti preciznijeg prikaza točaka. Ugrađen im je četverojezgreni Intelov procesor, kao i operacijski sustav Android, što omogućava autonomno iscertavanje 3D sadržaja do šest sati. Okružje se snima HD kamerom razlučivosti pet megapiksela te se uz pomoć senzora stavlja u kontekst proširene stvarnost, a uz pomoć ugrađenog LED indikatora se obavještava korisnik da kamera snima. (Epson, URL: [www.epson.com.uk](http://www.epson.com.uk) )



**Slika 14. Pametne naočale Moverio BT-200**

Osim Moverio pametnih naočala, hardver na tvrđavi Barone sastoji se od procesora male veličine, poput mobitela, te slušalice. Moverio pametne naočale imaju funkciju zaslona te prilikom šetnje tvrđavom omogućuju korisnicima uvid u povijesne scene koje su se odvijale u vidokrugu tvrđave.

Hardver uključuje i pet „target“ ploča, od Trespe<sup>2</sup>, visokih oko 185 centimetara, na kojima se nalazi motiv dalmatinskog prozora, i uz pomoć kojih aplikacija na određenim dijelovima tvrđave na kojima su postavljeni aktivira korisniku određeni scenarij.

## **5.6. Softver proširene stvarnosti na tvrđavi Barone**

Softverski dio proširene stvarnosti na tvrđavi Barone sastoji se od aplikacije instalirane na procesor, koja se pokreće prilikom pokretanja računala proširene stvarnosti, a funkcionira na principu senzora. To se oslikava na način da se u programu pokreću informacije proširene stvarnosti prepoznavanjem određenog vizualnog koda u prostoru.

Spomenute postavljene „target“ ploče nude programu prepoznavanje preko koda, te one aktiviraju scenarij za određeno područje tvrđave. Pokreće se priča kroz koju korisnika vode dva virtualna lika, jedan je dječak Jure, a drugi je Frane Divinić, povjesničar koji je svjedočio osmanskoj opsadi grada iz rujna 1647. godine, na kojoj se temelji priča oko tvrđave Barone.

Svaka od navedenih target ploča pokreće određenu priču, koje se redaju kronološki duž točaka uz sjeverni bedem tvrđave. Od uvoda u radnju i opisa Šibenika u 17. stoljeću preko gađanja topom, bitke te krajnje točke, što je uspješna obrana Šibenik. Svaka pojedina priča traje između dvije i šest minuta, a s proširenom stvarnošću se kombiniraju 3D animacije.

Sekundarni cilj je i da korisnik prođe cijeli sjeverni bedem tvrđave paralelno s korištenjem aplikacije, a cijena iznajmljivanja opreme koja uključuje mali procesor, pametne naočale i slušalice iznosi 30 kuna.

---

<sup>2</sup> Pod imenom Trespa podrazumijevaju se visokokvalitetni materijali u pločama za oblaganje fasada, balkona i uređenje interijera", Trespa Meteon, Portal hrvatskih arhitekata, <http://www.arhitekti.hr/trespa-meteon.aspx> (21.09.2017.)

## **5.7. Komentar proširene stvarnosti kroz projekt na tvrđavi Barone**

Proširena stvarnost je tehnologija koja je posljednjih godina u porastu što se tiče količine korištenja, ali je i dalje uvelike neistraženo područje, odnosno područje tehnologije koje se nalazi u testnoj fazi. I kao takva, nailazi na sve masovniju primjenu i onima koji su bili spremni i u mogućnosti u nju uložiti iskazuje veliki potencijal. Međutim, gledajući područje Hrvatske i područje regije, proširena stvarnost još uvijek nije uvelike zaživjela i, kao u slučaju proširene stvarnosti na tvrđavi Barone, uglavnom je atrakcija.

Ovo tehnološko područje nudi mnogo prilika i prostora za napredak i usavršavanje i kao takvo je izuzetno zanimljivo. Predmet je inovacija i omogućuje unaprjeđenje poslovanja u raznim sektorima, ali teško je raditi projekciju za daljnjih nekoliko godina i prognozirati krajnji domet proširene stvarnosti kao tehnologije.

Zasigurno je kako ona na neki način uvodi revoluciju u brojne sektore poslovanja, a velikim dijelom i u turistički i edukativni sektor. Prije svega, omogućava edukaciju na zabavan način, pristupom koji i educira i zabavlja korisnika istovremeno. Zasad nijedna druga tehnologija, a koja je relativno dostupna, ne može postići taj efekt, pogotovo u kontekstu turizma i edukacije pa je zasigurno riječ o smjeru koji će uvelike obilježiti budućnost u ovim sektorima.

Dodatni plus za ovaj primjer je i povoljnost korištenja aplikacije, najam opreme u cijeni od 30 kuna, s obzirom na lokaciju i jednu novu vrstu iskustva koju proširena stvarnost nudi, zasigurno nije preskup.

Mogući prostori za unaprjeđenje vjerojatno su najveći u području mobilnosti i ograničenja korisnika, odnosno u osiguravanju potpune slobode kretanja korisnika, čime će doći u još veću prednost pred ostale alate. Statični zaslone trebali bi otići u povijest, a vjerojatno će se ići u smjeru što manjeg opterećivanja korisnika, smanjenja napora uloženog u razmišljanje prilikom korištenja proširene stvarnosti, pa čak i personaliziranje izgleda svog okruženja. Drugim riječima, više ljudi će istu stvarnu okolinu vidjeti na različite načine, ovisno o svojim težnjama.

## 6. Projekt virtualnog Jurja Dalmatinca

Virtualni Juraj Dalmatinac projekt je, odnosno aplikacija i instalacija postavljena kraj šibenske katedrale sv. Jakova, spomenika baštine pod zaštitom UNESCO-a. Riječ je o aplikaciji edukativnog karaktera, ali i velikog turističkog potencijala, prije svega namijenjene turistima, koja funkcionira na bazi tehnologije proširene stvarnosti. Glavni lik aplikacije je Juraj Dalmatinac, povijesno važna ličnost za Šibenik, koji svim korisnicima aplikacije priča priču o Šibeniku i ima funkciju svojevrsnog turističkog vodiča.

### 6.1. Juraj Dalmatinac

Juraj Matejev Dalmatinac (latinski: Georgius Mathaei Dalmaticus), poznat i pod imenom Giorgio Orsini, ali ponegdje i kao Giorgi da Sebenico je talijanski i hrvatski kipar i graditelj, rođen u Zadru, s najvećim tragom ostavljenim u Šibeniku, u kojem je i umro.

Do 1441. živio je i stvarao u Veneciji, a potom dolazi u Šibenik i započinje s periodom života bitnim za kontekst ovog projekta. U Šibenik je pozvan da nastavi gradnju katedrale sv. Jakova, koja je započeta 1431. godine u stilu venecijanske gotike pod vodstvom Bonina iz Milana, a tamo nailazi na sagrađene bočne zidove, dva portala, kapele i dio pročelja. Upravo on je zaslužan za konačni monumentalan izgled katedrale koja je danas pod zaštitom UNESCO-a, mada ju nije dovršio već je u izgradnji sudjelovao do 1473. godine, kada je i umro. U svom periodu rada na šibenskoj katedrali imao je i stanku u trajanju od pet godina, tijekom koje je boravio u Dubrovniku ali i nekim drugim dalmatinskim i talijanskim gradovima, a nakon povratka je njegovo djelovanje obilježeno utjecajem firentinskih majstora s kojima je radio u Dubrovniku. Nakon smrti Jurja Dalmatinca, posljednju fazu izgradnje katedrale vodio je Nikola Ivanov iz Firence, poznatiji kao Nikola Firentinac, koji je na tom projektu bio od 1475. do 1536. godine.

Osim na šibenskoj katedrali, Juraj Dalmatinac je radio na još nekolicini građevina, od čega su mu najpoznatija djela kapela i oltar u splitskoj stolnoj crkvi sv. Staša, a po njegovom modelu izgrađene su kula sv. Katarine te dovršena Minčeta, obje u Dubrovniku. Na istoj lokaciji, ali u Sorkočevićevu ljetnikovcu, ostavio je i kip sv. Vlaha. Od značajnijih djela treba još izdvojiti i oltar bl. Arnira u župnoj crkvi u Kaštel Lukšiću, kao i portal crkve sv. Frane u Anconi.

## 6.2. Virtualni Juraj Dalmatinac

Virtualni Juraj Dalmatinac projekt je koji je zaživio tijekom 2013. godine, neposredno ispred katedrale sv. Jakova u Šibeniku, na vjerojatno najfrekventnijem mjestu što se tiče turista u gradu koji bilježi porast turističkih posjeta svake godine. Riječ je i o izuzetno atraktivnoj poziciji, a sama aplikacija ima dvojaku funkciju, i kao turistička atrakcija i kao edukativni sadržaj.

Kako kažu sami tvorci, „Juraj Dalmatinac je oživljen kao putnik kroz vrijeme koji vodi modernog čovjeka u prošlost i priča o stvarima koje su možda zaboravljene. S jedne strane imamo zabavno-turistički aspekt budući da se ljudi mogu fotografirati s njim, a s druge strane, virtualni vodič priča korisne informacije o gradnji katedrale i ostalim povijesnim činjenicama“. Navedeno su riječi Kristijana Mršića, iz agencije Momentum studio, koji je bio voditelj projekta i izradio je proširenu stvarnost, dok je njegov kolega iz agencije Boris Hergešić bio zadužen za izradu 3D modela. Nenad Obrenović iz DSP Studija bio je zadužen za osmišljavanje scenarija digitalnog sadržaja.

Riječ je o trodimenzionalnom vremeplovu i vodiču, koji se aktivira na tri postavljene aktivacijske točke u krugu katedrale sv. Jakova, jedna je na samoj katedrali, druga je na obližnjem Meštrovićevom spomeniku Juraju Dalmatincu, a treća je na UNESCO-voj spomen ploči kulturne baštine, također u blizini katedrale. Cijeli projekt prošao je puni krug razvoja, od ideje preko koncepta, razrade, izrade, testiranja do implementacije.





**Slika 15. Virtualni Juraj Dalmatinac**

#### **6.2.1. Izrada trodimenzionalnog modela Jurja Dalmatinca**

Sam ciklus izrade započeo je generalnom idejom koju se može tretirati kao scenarij za dokumentarni film, te koja kao priča ima sve potrebne elemente te je osnova svega ostalog, a tako i 3D tehnologije. Svaka etapa te priče ima svoju zasebnu radnju koja je dio sveukupne zaokružene priče o šibenskoj katedrali, što znači da svaka od postavljenih točaka za proširenu stvarnost ima svoj dio priče. Na temelju priče odabran je i lik koji će biti nositelj radnje i samog projekta, u ovom slučaju to je Juraj Dalmatinac, a njegov dizajn, kao i dizajn njegove obuće prošao je nekoliko iteracija te je vođen stilom perioda i statusa u društvu, a između ostalog je i samo lice prošlo nekoliko iteracija. Naime, inicijalno je napravljen lik s mlađim licem, što je više odgovaralo periodu, ali na testnoj skupini nije najbolje funkcioniralo pa je u konačnoj verziji napravljeno starije lice, koje je odlično prihvaćeno te je kod različitih dobnih skupina verzija Jurja Dalmatinca sa starijim licem često podsjećao na rodbinu ili nekog drugog iz Šibenika.

Sama izrada 3D modela odrađena je u Maya-i, a u istom programu napravljen je i animacijski podsustav, animacija i priprema modela sjenčanja. U tonskom studiju snimljen je glas nekolicine naratora, a uz originalni hrvatski jezik, aplikacija je prevedena i na engleski jezik, ali i na japanski jezik, jer je ocijenjeno kako je tehnološka obrazovanost i korištenje tehnologije kod japanskih turista, kojih kroz Šibenik i Dalmaciju prođe veliki broj, na visokoj

razini. Glas je potom posebno obrađen, kako bi dobro funkcionirao na prijenosnim uređajima, a da aplikacija bude dovoljno glasna i čistog zvuka, za vrlo često dosta bučnu lokaciju. U animaciji je i dodatno odrađena animacija otvaranja usta prema tekstu koji se izgovara, ali u granicama mogućnosti izvođenja uređaja.

Prilikom kreiranja proširene stvarnosti korišten je Aurasma Studio, jedna od besplatnih programskih platformi za stvaranje iskustva proširene stvarnosti, za koju ne postoji nužnost velikog programerskog predznanja.

### **6.2.2. Hardver Virtualnog Jurja Dalmatinca**

Osnovni hardver kod Virtualnog Jurja Dalmatinca, kod korisnika, je pametni telefon ili tabletno računalo, koje podržava ovu mogućnost, a takvih je većina od postojećih.

Sadržaj proširene stvarnosti računa se u realnom vremenu na uređaju korisnika, a fizička zgrada katedrale korištena je kao okidač za aktivaciju sadržaja proširene stvarnosti. Veliki izazov kreatorima ovog projekta predstavljala je promjena svjetla kroz dan na toj lokaciji, jer kamere uređaja to registriraju kao drugu sliku. Zbog toga je rješenje pronađeno u tome da se definiraju tri određene fiksne lokacije oko zgrade, kako bi perspektiva zgrade bila vrlo slična za većinu uređaja. Gotovo svaki od uređaja kod korisnika ima različitu leću i senzor, što dovodi do toga da svi uređaji ne vide niti isti izrez slike niti istu ekspoziciju svjetla. Ta promjena svjetla u konačnici je riješena tako da se svaka lokacija slikala nekoliko puta kroz period od nekoliko tjedana u različitim svjetlosnim situacijama, kroz različita razdoblja dana, kao u različitim vremenskim uvjetima, primjerice tijekom sunčanog i tijekom oblačnog vremena, te je pomoću toga smanjena mogućnost stvaranja razlike kod prepoznavanja izreza slike i ekspozicije svjetla od strane uređaja.

Prilikom korištenja aplikacije sav prijenos podataka odvijao se putem lokalne bežične internetske mreže, odnosno Wi-Fi mreže.

### **6.2.3. Financijski okvir Virtualnoj Jurja Dalmatinca**

Projekt Virtualnog Jurja Dalmatinca kandidiran je i realiziran u zajedničkoj inicijativi Turističke zajednice Grada Šibenika i Odjela za gospodarstvo, razvoj i poduzetništvo grada

Šibenika, voditelj projekta i autor proširene stvarnosti bio je Kristijan Mršić iz Momentum Studija, scenarij i ton realizirao je Nenad Obrenović iz DSP Studija, a 3D model izradio je Boris Hergešić iz Momentum Studija.

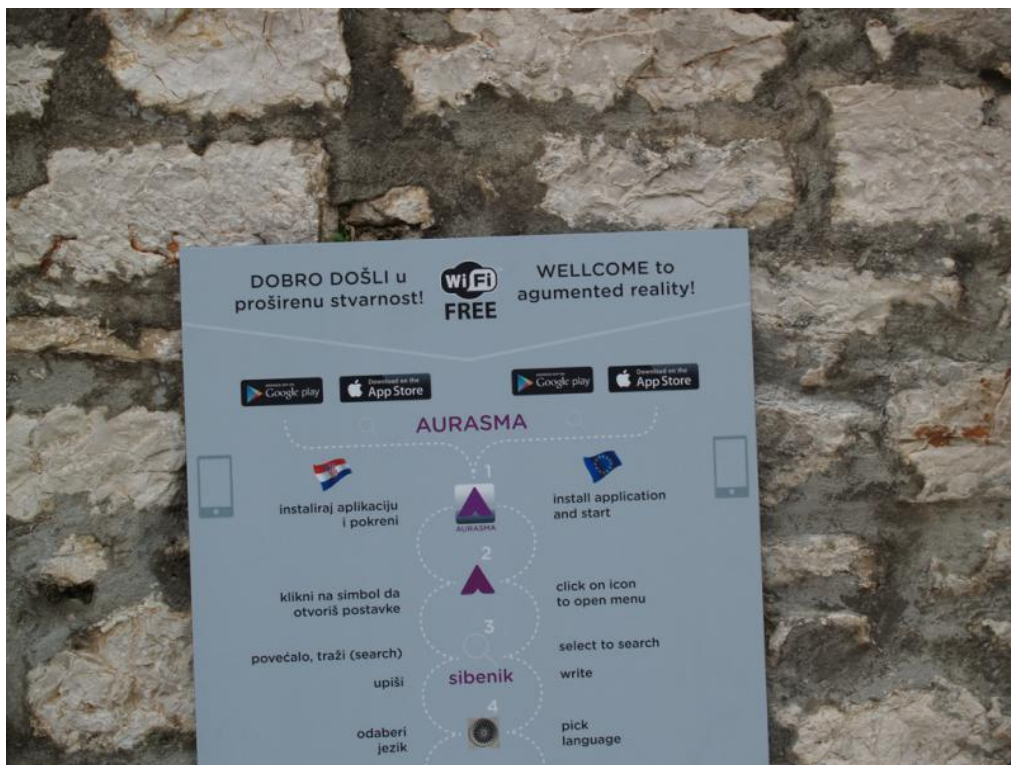
Projekt je financiran od strane Ministarstva turizma Republike Hrvatske, koji je za njega dodijelio 80 tisuća kuna bespovratnih sredstava.

Tijekom 2013. godine stiglo je i veliko priznanje na međunarodnoj razini za ovaj projekt. Svjetska turistička organizacija (UNWTO) dodijelila je Virtualnoj Jurju Dalmatincu najprestižniju svjetsku nagradu u turizmu, Ulysses, u kategoriji Tehnološkog razvoja i inovacija, za 2013. godinu.

#### **6.2.4. Funkcioniranje Virtualnog Jurja Dalmatinca**

Virtualni Juraj Dalmatinac jednostavan je za korištenje i funkcionira kao odlična nadopuna turističke ponude u Šibeniku, na ionako atraktivnom i frekventnom turističkom mjestu, ali nije zamišljen kao atrakcija koja će sama za sebe izazvati zanimanje, dok primjerice proširena stvarnost na tvrđavi Barone figurira kao ponajveća atrakcija te tvrđave. Virtualni Juraj Dalmatinac jedan je klasičan primjer korištenja jednostavne tehnologije proširene stvarnosti uz značajnu dozu kreacije u relativno jednostavno ostvarivu aplikaciju, za koju nisu potrebna niti velika financijska sredstva, kao ni komplicirana tehnologija ni veliko tehničko znanje korisnika.

Na postavljenim panelima u okolini šibenske katedrale navedene su upute za instaliranje aplikacije i njeno korištenje, koje je vrlo jednostavno i dovodi korisnika do uvida u povijest katedrale i mogućnost fotografiranja s virtualnim likom Jurja Dalmatinca.



**Slika 16. Virtualni Juraj Dalmatinac – upute za korištenje aplikacije**

Problem kod aplikacije je bio što se malo zanemarilo njeno postojanje nakon prvotne velike pozornosti i vidljivosti uz katedralu, odnosno mnogi turisti nisu bili svjesni da postoji ova aplikacija, no to spada u sferu marketinških problema. Drugi problem je činjenica da su se počeli pojavljivati tehnički problemi zbog kojih je Virtualni Juraj Dalmatinac određeno vrijeme bio nedostupan, no naknadno je to riješeno.

## 7. Zaključak

Trodimenzijska tehnologija sve je dostupnija te lakša za korištenje sve većem broju ljudi, ali i lakša za modifikaciju sve većem broju proizvođača usluga temeljenih na trodimenzijskim tehnologijama jer ne iziskuje specijalizirano i veliko tehnološko predznanje da bi se konstruirao jednostavan trodimenzijski proizvod ili jednostavna aplikacija.

Nekolicina primjera sa svjetske razine te dva spomenuta iz Hrvatske definitivna su potvrda kako trodimenzijska tehnologija postaje trend koji će se u turizmu morati slijediti kako bi se ostalo u korak s potrebama razvijanja ponude u modernijem smjeru, u smjeru multimedijalnosti i sasvim novog načina prikazivanja povijesnih činjenica nego što je to bilo dosad.

Nekolicina je načina upotrebe trodimenzijske tehnologije u turističke i edukativne svrhe kao i razina sofisticiranosti te tehnologije. Neki primjeri primjene daju dodatnu dozu atraktivnosti i zanimljivosti prilikom posjete samim lokalitetima, odnosno predstavljaju dodatni razlog za posjetu nekom mjestu, dok drugi primjeri pokazuju kako je moguće iz vlastitog doma putem računala posjetiti neke poznate muzeje i steći detaljan uvid u djela ili izdaleka doživjeti trodimenzijsko iskustvo povijesnih činjenica i prostora. Taj drugi način primjene ide u korak i s potrebama zaštite određenih lokaliteta, barem privremeno te zaštite pojedinih umjetničkih djela, primjerice, od prekomjerne eksploatacije u vidu stalne izloženosti posjetiteljima.

Zaključak svega je kako u vrlo skoroj budućnosti upotreba trodimenzijske tehnologije u turističko-edukativnom sektoru neće biti samo bonus nadogradnja ponude i svojevrsna atrakcija, već će biti nužnost. Ubrzani razvoj trodimenzijske tehnologije i ubrzano širenje njene dostupnosti dovest će do toga da će ona biti osnovan alat u ovom sektoru, a s kojim će u prednosti biti onaj tko ga najbolje i najmaštovitije iskoristi, odnosno onaj tko bude pratio ili nosio njen razvoj prema korištenju na sasvim nove načine.

## 8. Sažetak

U ovom radu se kroz pet poglavlja obrađuje tema trodimenzionalne tehnologije, s posebnim naglaskom na upotrebu trodimenzionalne tehnologije u turističke i edukativne svrhe.

U prvom dijelu rada objašnjava se općenito trodimenzionalna grafika te uopće trodimenzionalna tehnologija, načini izrade trodimenzionalnih modela kroz opis najčešće korištenih oblika prikaza virtualnih trodimenzionalnih modela te uređaji koji tu tehnologiju koriste. Napravljen je presjek funkcioniranja trodimenzionalnih skenera te trodimenzionalnih printera, odnosno opisane najčešće korištene vrste tih proizvoda te tehnologije koje koriste, kao i područje primjene u kojima služe.

Prikazane su i računalne simulacije koje koriste trodimenzionalnu tehnologiju, kao virtualna restauracija, virtualna stvarnost te proširena stvarnost, kao i razlike između posljednje dvije navedene. Posebno je analiziran hardver i softver koji koristi proširena stvarnost.

Slijedi navođenje primjera korištenja trodimenzionalne tehnologije u turističke i edukativne svrhe, gdje su izdvojeni UNESCO-va povelja o očuvanju digitalne baštine, Google Art Project i Rome Reborn, a u posljednjem dijelu rada obrađuju se detaljno dva primjera korištenja trodimenzionalne tehnologije u turističke i edukativne svrhe na području Hrvatske, oba u Šibeniku. Riječ je o projektu proširene stvarnosti na tvrđavi Barone te projektu Virtualnog Jurja Dalmatinca ispred šibenske katedrale.

**Ključne riječi:** 3D, model, virtualna stvarnost, proširena stvarnost, Virtualni Juraj Dalmatinac

# **The use of 3D technology for tourism and educational purposes: examples of augmented reality on the Fortress Barone and Virtual Juraj Dalmatinac**

## **9. Abstract**

This thesis through the five chapters discuss the theme of 3D technology, with special emphasis on the use of 3D technology for tourism and educational purposes.

Thesis starts with the description of 3D graphics and 3D technology. 3D models are described by describing the most commonly used forms of virtual 3D models and also the devices used by this technology. Then there is a part about 3D scanners and 3D printers, describing the most commonly used types of these products and the technologies they use, as well as the scope of their applications.

Third part of the thesis is about computer simulations that use 3D technology, such as virtual restoration, virtual reality, and augmented reality, as well as differences between the virtual reality and augmented reality. Especially, there is analysis of hardware and software that is used in augmented reality projects.

Last part of the thesis deals with the examples of the use of 3D technology for tourism and educational purposes, where the UNESCO's Digital Heritage Preservation Charter, the Google Art Project and the Rome Reborn project are outlined. After that, there are two examples of using 3D technology for tourism and educational purposes in Croatia, both in Šibenik. First is the augmented reality project on Fortress Barone, and second is project of Virtual Juraj Dalmatinac in front of the Šibenik cathedral.

**Keywords:** 3D, model, virtual reality, augmented reality, Virtual Juraj Dalmatinac

The use of 3D technology for tourism and educational purposes: examples of augmented reality on the Fortress Barone and Virtual Juraj Dalmatinac

## Popis literature

1. 2.5D. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/2.5D>
2. 3D computer graphics. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_computer\\_graphics](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_computer_graphics)
3. 3D modeling. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_modeling](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling)
4. 3D printing. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_printing](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing)
5. 3D scanner. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner)
6. Augmented reality. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented\\_reality](https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality)
7. Azuma, R. T.; A survey of augmented reality, In Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 6, No. 4, 1997.
8. Bimber O., Raskar, R.; Spatial augmented reality: Merging Real and Virtual Words, Natick, MA:AK Peters, 2005.
9. Bugarić, M.: Protupožarni nadzorni sustav unaprijeđen geografskim informacijskim sustavom i na njemu utemeljenoj proširenoj stvarnosti, Doktorska disertacija, Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, 2013.
10. Coordinate measuring machine. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Coordinate-measuring\\_machine](https://en.wikipedia.org/wiki/Coordinate-measuring_machine)
11. Electron beam additive manufacturing. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electron\\_beam\\_additive\\_manufacturing](https://en.wikipedia.org/wiki/Electron_beam_additive_manufacturing)
12. Epson. URL: [www.epson.co.uk](http://www.epson.co.uk)
13. Fused deposition modeling. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fused\\_deposition\\_modeling](https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_deposition_modeling)
14. Google Art Project. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Google\\_Art\\_Project](https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Art_Project)
15. Höllerer, T. H., Feiner S. K.; Chapter 8: Mobile augmented reality, Telegeoinformatics: Location-Based Computing and Services, Karimi HA, Hammand A (Eds.), Taylor&Francis Books Ltd, 2004.
16. Laminated object manufacturing. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Laminated\\_object\\_manufacturing](https://en.wikipedia.org/wiki/Laminated_object_manufacturing)
17. Milgram P., Kishino F.; A taxonomy of mixed reality visual displays, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E77-D, No. 12, 1994.
18. Non uniform rational B-spline. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Non-uniform\\_rational\\_B-spline](https://en.wikipedia.org/wiki/Non-uniform_rational_B-spline)



19. Pocket-lint: Samsung contact lense displays will put AR video and cameras in your eyes, URL: <http://www.pocket-lint.com/news/137239-samsung-contact-lens-displays-will-put-ar-video-and-cameras-in-your-eyes>
20. Point cloud. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Point\\_cloud](https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud)
21. Polygon. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon\\_\(computer\\_graphics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_(computer_graphics))
22. Prochazka, D., Koubek, T.; Augmented Reality Implementation Methods in Mainstream Applications, arXiv preprint arXiv: 1106.5569, 2011.
23. Rome Reborn, About. URL: <http://www.romereborn.virginia.edu/about.php>
24. Selective laser sintering. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Selective\\_laser\\_sintering](https://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering)
25. Solid modeling. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solid\\_modeling](https://en.wikipedia.org/wiki/Solid_modeling)
26. Stančić H., Zanier K.; Heritage live: upravljanje baštinom uz pomoć informacijskih alata, Univerzitetna založba Annales, Koper, 2012.
27. Stereolithography. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Stereolithography>
28. Sutherland, I. E.; head mounted three dimensional display, Proceedings of the AFIPS fall joint computer conference, Thompson Books, 1968.
29. Sutherland, I. E.; The ultimate display, Proceedings of the International Federation of Information Processing Congress, 1965.
30. Tvrđava Barone. URL: [www.barone.hr](http://www.barone.hr)
31. UNESCO. URL: [www.unesco.org](http://www.unesco.org)
32. Virtual reality. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual\\_reality](https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality)
33. Voxel. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Voxel>

## Popis slika

Slika 1. 3D poligonalno modeliranje ljudskog lica .....	5
Izvor: Wikipedia. URL: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling">https://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling</a>	
Slika 2. Brod izražen oblacima točaka .....	6
Izvor: Aitac 3D scanning. URL: <a href="http://3d.aitac.hr/">http://3d.aitac.hr/</a>	
Slika 3. 3D modeliranje broda korištenjem NURBS krivulja .....	7
Izvor: Wikipedia. URL: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Non-uniform_rational_B-spline">https://en.wikipedia.org/wiki/Non-uniform_rational_B-spline</a>	
Slika 4. Voxeli raspoređeni u 3D mrežu, jedan voxel je istaknut bojom .....	8
Izvor: Wikipedia. URL: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Voxel">https://en.wikipedia.org/wiki/Voxel</a>	
Slika 5. Koordinatni mjerni uređaj .....	10
Izvor: Wikipedia. URL: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Coordinate-measuring_machine">https://en.wikipedia.org/wiki/Coordinate-measuring_machine</a>	
Slika 6. LIDAR skener .....	12
Izvor: Wikipedia. URL: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar">https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar</a>	
Slika 7. Princip rada skenera koji koristi triangulaciju .....	13
Izvor: Wikipedia. URL: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner">https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner</a>	
Slika 8. Shematski prikaz tehnologije modeliranja spojenih naslaga .....	17
Izvor: Wikipedia. URL: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_deposition_modeling">https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_deposition_modeling</a>	
Slika 9. Shematski prikaz sterelitografije .....	18
Izvor: Wikipedia. URL: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Stereolithography">https://en.wikipedia.org/wiki/Stereolithography</a>	
Slika 10. Arcam A2 – uređaj koji koristi tehnologiju topljenja elektronskom zrakom .....	19
Izvor: Wikipedia. URL: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Electron_beam_additive_manufacturing">https://en.wikipedia.org/wiki/Electron_beam_additive_manufacturing</a>	
Slika 11. Vuzix AR3000 - pametne naočale za proširenu stvarnost .....	27
Izvor: Wikipedia. URL: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality">https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality</a>	
Slika 12. Rome Reborn .....	37
Izvor: Rome Reborn. URL: <a href="http://romereborn.frischerconsulting.com/gallery-current.php">http://romereborn.frischerconsulting.com/gallery-current.php</a>	
Slika 13. Proširena stvarnost na tvrđavi Barone .....	41
Izvor: Kadei. URL: <a href="http://kadei.hr/case-study/tvrđjava-barone-storytelling-prosirena-stvarnost/">http://kadei.hr/case-study/tvrđjava-barone-storytelling-prosirena-stvarnost/</a>	
Slika 14. Pametne naočale Moverio BT-200 .....	41
Izvor: EPSON. URL: <a href="http://www.epson.co.uk">www.epson.co.uk</a>	
Slika 15. Virtualni Juraj Dalmatinac .....	46

Izvor: Šibenski portal. URL: <http://sibenskiportal.rtl.hr/2013/05/16/foto-ozivljeni-juraj-dalmatinac-turiste-informira-o-katedrali/>

Slika 16. Virtualni Juraj Dalmatinac – upute za korištenje aplikacije ..... 49

Izvor: Grad Šibenik. URL: [www.sibenik.hr](http://www.sibenik.hr)